



**M** 2015

# **A EFICIENCIA ENERGÉTICA IMPLEMENTADA NOS EDIFÍCIOS DA UP**

**PEDRO NUNO DO VALE BRITO PARREIRA**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO APRESENTADA

À FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO EM

MESTRADO INTEGRADO EM ENGENHARIA ELETROTECNICA E DE COMPUTADORES



**Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto**



## **A Eficiência Energética Implementada nos Edifícios da UP**

**Pedro Nuno do Vale Brito Parreira**

Dissertação realizada no âmbito do  
Mestrado Integrado em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores  
Major Energia

Orientador: Professor Doutor José Rui da Rocha Pinto Ferreira  
Coorientadora: Engenheira Iva Carla Carvalho

junho de 2015

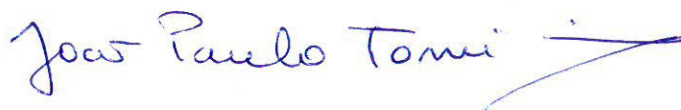


A Dissertação intitulada

***“A Eficiência Energética Implementada nos Edifícios da UP”***

foi aprovada em provas realizadas em 21-07-2015

o júri



Presidente **Professor Doutor João Paulo Tomé Saraiva**

Professor Associado do Departamento de Engenharia Eletrotécnica e de Computadores da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto



**Professora Doutora Fernanda de Oliveira Resende**

Professora Auxiliar da Universidade Lusófona



**Professor Doutor José Rui da Rocha Pinto Ferreira**

Professor Auxiliar do Departamento de Engenharia Eletrotécnica e de Computadores da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

O autor declara que a presente dissertação (ou relatório de projeto) é da sua exclusiva autoria e foi escrita sem qualquer apoio externo não explicitamente autorizado. Os resultados, ideias, parágrafos, ou outros extratos tomados de ou inspirados em trabalhos de outros autores, e demais referências bibliográficas usadas, são corretamente citados.



**Autor - Pedro Nuno do Vale Brito Parreira**

Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto



# Resumo

Atualmente tem-se verificado um crescente interesse na implementação de medidas de eficiência energética em edifícios, em todo o mundo e também em Portugal, que decorrem das revisões das políticas energéticas, da introdução de critérios de sustentabilidade e eficiência energética, pelo que o uso eficiente da energia é fundamental para o desenvolvimento das sociedades.

Os desafios ambientais do século XXI passam por uma gestão eficiente dos recursos naturais, em particular dos energéticos. No caso dos edifícios da Universidade do Porto (UP), essa gestão energética concentra-se na procura da excelência da implementação de medidas de eficiência energética e na gestão/exploração das instalações dos edifícios, tais como: águas quentes sanitárias (AQS); aquecimento, ventilação e ar condicionado (AVAC); elétricas, entre outras.

O presente estudo centra-se no fenómeno recente da reabilitação energética em edifícios da Administração Pública, nomeadamente nas intervenções realizadas nos edifícios do campus da UP, com vista a melhorar e otimizar o desempenho energético-ambiental do seu património edificado.

Propõe-se fazer uma abordagem às medidas implementadas de eficiência energética, que foram anteriormente identificadas como potenciais geradoras de poupança energética, através dos estudos das auditorias energéticas efetuadas ao património edificado da UP, após a celebração de um protocolo entre a Universidade do Porto e o Estado Português.

Para além da descrição das medidas implementadas foi, também, desenvolvida uma plataforma de *software Web*, integradora de informação monitorizada, das instalações dos edifícios do campus da Universidade do Porto,

Esta plataforma permite uma visualização em tempo real das grandezas elétricas e gás, podendo-se efetuar o tratamento de dados das mesmas grandezas *a posteriori*, constituindo uma ferramenta de grande potencial para a gestão de energia do património edificado da UP.

Esta abordagem foi testada com êxito no projeto através do recurso às bases de dados instaladas nos servidores da UP. Os resultados obtidos foram alcançados com sucesso, os quais se apresentam elencados ao longo desta dissertação.

**Palavras-chave:** Eficiência Energética, Energia Reativa, Sistema Monitorização de Energia





# Abstract

Nowadays there has been a growing interest in the implementation of energy efficiency measures in buildings, around the world and also in Portugal, resulting from the review of energy policies, the introduction of sustainability criteria and energy efficiency, whereby the efficient use of energy is fundamental for the development of societies.

The environmental challenges of the twenty-first century undergo an efficient management of natural resources, particularly energy. As for UP's built heritage, this energy management focuses on the pursuit of excellence in the implementation of energy efficiency measures and management/exploration of building facilities, such as AQS , HVAC, electrical, among others.

This study focuses on the recent phenomenon of energy rehabilitation in public buildings, particularly on the interventions occurred in the UP campus buildings, in order to improve and optimize the energy performance of its built heritage.

It is proposed to make an approach of the energy efficiency measures implemented, which are identified as a potential source of energy savings for the institution, achieved through the study of energy audits carried out at the University's campus buildings, after a signed protocol, agreed between the University of Porto and the Portuguese Government.

Beyond the description of the implemented measures, a web software platform was also developed, integrating the monitored information of the facilities of the University of Porto campus buildings, allowing a real- time display of the electrical parameters to be measured, and in the future of water and gas, allowing the process of data of the same magnitude, creating a tool of great potential for energy management of the UP campus building.

During the project this approach was successfully tested, using the data bases installed in the UP server. The results obtained were successfully achieved, which are presented throughout the description of this thesis.

**Key word:** Energy Efficiency, Reactive Energy, Energy Monitoring System



# Agradecimentos

A realização da presente dissertação foi possível graças a um conjunto de pessoas que, direta ou indiretamente, deram o seu contributo para a sua concretização.

Começo por agradecer ao meu orientador, o Professor Doutor José Rui Ferreira, pelo apoio e disponibilidade, dedicação, orientação e palavras de incentivo que em muito contribuíram para o desenrolar deste trabalho de investigação.

À Universidade do Porto, em especial à Eng.<sup>a</sup> Iva Carvalho, pela disponibilidade e pelo apoio demonstrado na prestação de esclarecimentos, assim como pelo fornecimento dos dados utilizados para a realização deste trabalho.

Ao INESC Porto, nomeadamente ao Professor Doutor Cláudio Monteiro, um especial agradecimento, por me ter proporcionado a participação no projeto P3EUP.

Ao Ricardo Domingues, João Sousa, Rui Azevedo, João Lobo e Joaquim Santos pela disponibilidade, apoio e colaboração.

Aos meus pais e irmã, pelo inestimável apoio familiar que contribuiu de forma decisiva na minha educação e realização pessoal e profissional.

À Filipa que em todos os momentos me apoiou e iluminou com a sua presença, que nunca me deixou desistir e que, nos momentos menos favoráveis, me encheu de força e esperança, de forma a concluir este trabalho.

O meu muito obrigado a todos...



# Índice

<b>Resumo .....</b>	<b>i</b>
<b>Abstract.....</b>	<b>iii</b>
<b>Agradecimentos .....</b>	<b>v</b>
<b>Índice.....</b>	<b>vii</b>
<b>Lista de figuras .....</b>	<b>xi</b>
<b>Lista de tabelas .....</b>	<b>xiii</b>
<b>Abreviaturas e Símbolos .....</b>	<b>xv</b>
<b>Capítulo 1 .....</b>	<b>18</b>
Introdução.....	18
1.1 - Enquadramento .....	18
1.2 - Objetivos do trabalho .....	19
1.3 - Organização da dissertação .....	19
<b>Capítulo 2 .....</b>	<b>21</b>
Reabilitação energética de edifícios .....	21
2.1 - O caminho para o desenvolvimento sustentável .....	21
2.2 - Diretivas Europeias no âmbito da eficiência energética.....	23
2.3 - Políticas energéticas e legislação em Portugal.....	23
2.3.1 - Programas de apoio à reabilitação energética de edifícios .....	24
2.3.2 - Legislação aplicável à eficiência energética/ reabilitação energética de edifícios .....	26
2.4 - Investimento em reabilitação energética de edifícios .....	27
2.5 - Importância da reabilitação energética de edifícios .....	28
2.6 - Caracterização e identificação de anomalias.....	28
2.7 - Metodologia de intervenção na reabilitação energética de edifícios.....	29
2.7.1 - Fase do processo de reabilitação .....	29
2.8 - Avaliação técnico-económica da reabilitação energética .....	32
2.9 - Conclusão .....	32
<b>Capítulo 3 .....</b>	<b>33</b>
Eficiência energética nos edifícios da UP .....	33
3.1 - A Universidade do Porto e o seu património .....	33
3.2 - Auditoria Energética e da Qualidade do Ar Interior .....	35

3.2.1 - Auditoria energética .....	35
3.2.2 - Auditoria da Qualidade do Ar Interior.....	35
3.2.3 - Simulação dinâmica de edifícios .....	36
3.3 - Certificação energética edifícios .....	37
3.4 - Planos de gestão da manutenção .....	37
3.5 - Planos comportamentais na eficiência energética .....	38
3.6 - Medidas de melhoria de desempenho energético ao nível da envolvente do edifício .....	38
3.6.1 - Caixilharia eficiente.....	38
3.6.2 - Películas solares .....	39
3.7 - Medidas de melhoria de desempenho energético ao nível das instalações térmicas ....	40
3.7.1 - Requalificação de central térmica .....	40
3.7.2 - Instalação de sistemas solares térmicos .....	41
3.7.3 - Instalação de válvulas termostáticas.....	41
3.8 - Medidas de melhoria de desempenho energético ao nível das instalações elétricas ....	42
3.8.1 - Correção do fator de potência .....	42
3.8.2 - Filtros ativos.....	43
3.8.3 - Sistema de monitorização de energia.....	43
3.9 - Conclusões .....	43
<b>Capítulo 4 .....</b>	<b>45</b>
Sistema solar térmico.....	45
4.1 - Introdução .....	45
4.2 - Revisão de conceitos relativos à Energia Solar .....	45
4.2.1 - A Radiação Solar .....	45
4.2.2 - A atmosfera terrestre e a radiação Solar.....	46
4.2.3 - Movimento Terra-Sol .....	46
4.2.4 - Declinação Solar .....	47
4.2.5 - Posição Solar.....	47
4.2.6 - Incidência não normal da radiação solar sobre um coletor .....	48
4.2.7 - Determinação de sombras.....	48
4.3 - Tipos de sistemas solares térmicos.....	49
4.3.1 - Circulação natural .....	49
4.3.2 - Circulação Forçada .....	50
4.4 - Principais elementos de um sistema solar térmico.....	51
4.4.1 - Coletores Solares .....	51
4.4.2 - Circuitos hidráulicos da instalação solar .....	52
4.4.3 - Grupo de bombagem .....	53
4.4.4 - Permutadores de calor.....	53
4.4.5 - Acumuladores .....	53
4.4.6 - Sistemas de Apoio .....	53
4.4.7 - Vaso de Expansão.....	54
4.4.8 - Dissipador calor .....	54
4.4.9 - Controlo e instrumentação.....	55
4.4.10 - Tubagens.....	55
4.4.11 - Ligações hidráulicas dos coletores solares .....	55
4.5 - Caso de estudo, instalação solar térmica .....	57
4.5.1 - Introdução .....	57
4.5.2 - Descrição e localização do edifício.....	57
4.5.3 - Caracterização do recurso solar .....	58
4.5.4 - Dimensionamento das necessidades.....	58
4.5.5 - Perfil de consumos .....	59
4.5.6 - Viabilidade económica da instalação solar.....	60
4.5.1 - Descrição do funcionamento da instalação solar térmico .....	61
4.6 - Plano de manutenção dos sistemas solares térmicos .....	62
4.7 - Conclusão .....	63
<b>Capítulo 5 .....</b>	<b>65</b>
Correção do fator de potência .....	65

5.1 - Introdução.....	65
5.2 - Revisão de conceitos .....	65
5.3 - Correção do fator de potência .....	67
5.4 - Desvantagens da correção do fator de potência .....	67
5.5 - Otimização da fatura energética.....	68
5.6 - Configurações da compensação do fator de potência.....	70
5.6.1 - Compensação global de energia reativa .....	70
5.6.2 - Compensação por setor ou por grupos de energia reativa .....	71
5.6.3 - Compensação Individual ou Local de energia reativa .....	72
5.7 - Caso de estudo - correção do fator potência .....	72
5.8 - Conclusões .....	75
<b>Capítulo 6 .....</b>	<b>77</b>
Sistema de monitorização de energia .....	77
6.1 - Conceitos básicos sobre instrumentos numa rede SGE .....	78
6.2 - Redes de comunicação.....	78
6.2.1 - Tipo de redes de comunicação .....	79
6.2.2 - Topologia de redes .....	79
6.3 - Protocolos de comunicação .....	80
6.4 - Arquitetura do SGE .....	81
6.5 - <i>Software</i> de gestão de energia (SGE) .....	82
6.5.1 - Base de dados .....	82
6.6 - Equipamentos do SME .....	83
6.6.1 - Analisadores de rede .....	83
6.6.2 - Transformadores de intensidade .....	83
6.6.3 - Concentradores de impulsos .....	84
6.6.4 - Conversor RS485 - TCP/IP .....	84
6.6.5 - Cabos de comunicação .....	84
6.6.6 - Cabos/condutores elétricos.....	84
6.7 - Plataforma de monitorização energia.....	84
6.6.7 - Módulo de acesso autenticação .....	85
6.6.8 - Módulo georreferenciação do património edificado da UP .....	86
6.6.9 - Módulo dashboard.....	86
6.6.10 - Módulo gráfico .....	87
6.6.11 - Módulo de tabela .....	88
6.6.12 - Módulo de relatório .....	88
6.6.13 - Módulo de alarme .....	89
6.6.14 - Módulo de configuração .....	89
6.8 - Conclusão .....	90
<b>Capítulo 7 .....</b>	<b>91</b>
Conclusões .....	91
7.1 - Propostas para trabalhos futuros .....	92
<b>Referências .....</b>	<b>93</b>
<b>Anexo 1 .....</b>	<b>96</b>
<b>Anexo 2 .....</b>	<b>98</b>
<b>Anexo 3 .....</b>	<b>99</b>
<b>Anexo 4 .....</b>	<b>100</b>
<b>Anexo 5 .....</b>	<b>101</b>





## Lista de figuras

Figura 2.1 - Programas definidos para todas as áreas de atuação no PNAEE [10]. .....	25
Figura 2.2 - Diagrama de fluxo, fase do processo de reabilitação [17]. .....	30
Figura 3.1 - Edifício da reitoria da UP [19]. .....	34
Figura 3.2 - Etiqueta de classe de eficiência energética [13]. .....	37
Figura 3.3 - Caixilharia eficiente.....	39
Figura 4.1 - Radiação Solar, [21]. .....	45
Figura 4.2- Representação esquemática da influência da atmosfera (em percentagem) nos fenômenos de absorção e difusão da radiação solar e da quantidade absorvida e refletiva pela superfície terrestre [22]. .....	46
Figura 4.3 - Trajetória, distância e posições da Terra em volta do Sol, com as respectivas durações de insolação diárias nas quatro estações do ano [22]. .....	47
Figura 4.4 - Posição do Sol em relação à superfícies horizontais, [23]. .....	47
Figura 4.5 - Definição de ângulos de incidente da radiação solar sobre um coletor solar inclinado [24] .....	48
Figura 4.6 - Diagrama da trajetória solar para $L=40^\circ$ [24]. .....	49
Figura 4.7 - (a) Esquema Solar térmico termossifão, (b) diagrama de funcionamento, [26]. ..	50
Figura 4.8 - Esquema solar térmico de circulação forçada, [27]. .....	50
Figura 4.9 - Representação esquemática de um coletor solar térmico [21]. .....	52
Figura 4.10 - Representação esquemática de um vaso de expansão [25]. .....	54
Figura 4.11 - Ligação hidráulica em série de coletores solares [25]. .....	56
Figura 4.12 - Ligação hidráulica em paralelo com alimentação em retorno invertido, de coletores solares [25]. .....	56
Figura 4.13 - Ligação hidráulica em paralelo de canais, de coletores solares [25]. .....	56
Figura 4.14 - Ligação hidráulica de vinte e quatro coletores solares, com combinação de ligações serie-paralelo de canais [25]. .....	57

Figura 4.15 - Vista aérea do edifício RUCA I. ....	57
Figura 4.16 - Caracterização do recurso solar na região do Porto. ....	58
Figura 4.17- Representação gráfica do mensal da energia Solar fornecida VS necessidades ..	59
Figura 4.18 - Perfil de consumos de AQS médio diário.....	60
Figura 4.19 - Amortização em euros, da instalação solar térmica.....	60
Figura 5.1 - (a) Esquema de circuito elétrico, (b) diagrama fasorial [28]. ....	66
Figura 5.2- Compensação global .....	70
Figura 5.3 - Compensação por setor ou grupos.....	71
Figura 5.4 - Compensação individual.....	72
Figura 5.5 - Consumo de energia reativa fora das horas de vazio .....	73
Figura 5.6 - Gráfico do custo de energia reativa fora das horas de vazio .....	74
Figura 6.1 - Topologia de redes de comunicação, [34]. ....	80
Figura 6.2- Arquitetura de um SGE, [35]. ....	82
Figura 6.3 - Imagem do módulo de acesso autenticação, do “Energytracker”. ....	85
Figura 6.4 - Imagem, módulo georreferenciação, do “Energytracker” .....	86
Figura 6.5 - Imagem do módulo dashboard, monitorização de consumos, “Energytracker” ....	87
Figura 6.6 - Imagem do módulo gráfico, do “Energytracker” .....	87
Figura 6.7 - Imagem do módulo tabela, do “Energytracker”. ....	88
Figura 6.8 - Imagem do módulo relatório, do “Energytracker”. ....	88
Figura 6.9 - Imagem do módulo de alarme, do “Energytracker”. ....	89
Figura 6.10 - Imagem do módulo de configurações, do “Energytracker”. ....	90

## Lista de tabelas

Tabela 5.1 - Escalões à aplicar na faturação de energia reativa indutiva e capacitiva pelo uso das redes [32]. .....	69
Tabela 5.2 - Resumo dos encargos mensais de energia reativa - RUCA I .....	74



# Abreviaturas e Símbolos

## Lista de abreviaturas

ADENE	Agência da Energia
AQS	Aguas Quentes Sanitárias
AT	Alta Tensão
AVAC	Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado
BC	Bateria de Condensadores
BTE	Baixa Tensão Especial
CE	Comunidade Europeia
CEE	Comunidade Económica Europeia
DGEG	Direção Geral de Energia e Geologia
E4	Programa de Eficiência Energética e Energia Endógenas
ECO.AP	Programa de Eficiência Energética na Administração Pública
ERSE	Entidade Reguladora dos Serviços Energético
ESE	Empresa de Serviços Energéticos
FAI	Fundo de Apoio à Inovação
FEE	Fundo de Eficiência Energética
GEE	Gases de Efeito de Estufa
GLE	Gestor Local de Energia
HFV	Horas Fora do Vazio
HV	Horas de Vazio
IEE	Índice de Eficiência Energética
INESC	Instituto de Engenharia de Sistemas e Computadores
LAN	<i>Local Área Network</i>
MAN	<i>Metropolitan Área Network</i>
MAT	Muito Alta Tensão
MT	Média Tensão
NP	Norma Portuguesa
ORD	Operador de Rede de Distribuição

OSI	Organização Internacional para a Normalização
P3E	Programa Eficiência Energética em Edifícios
P3EUP	Programa Eficiência Energética em Edifícios da Universidade do Porto
PNAC	Plano Nacional de Alterações Climáticas
PNAEE	Plano Nacional de Ação para a Eficiência Energética
PNAER	Plano Nacional de Ação para as Energias Renováveis
PPEC	Plano de Promoção da Eficiência no Consumo de Energia Elétrica
QAI	Qualidade do Ar Interior
QREN	Quadro de Referência Estratégico Nacional
RCCTE	Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios
RECS	Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Comércio e Serviços
REH	Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação
RRC	Regulamento de Relações Comerciais
RSECE	Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios
RT	Regulamento Tarifário
RTIEBT	Regras Técnicas de Instalações Elétricas Baixa Tensão
RUCAI	Residência Universitária do Campo Alegre
SASUP	Serviço de Ação Social da Universidade do Porto
SCE	Sistema de Certificação Energética dos Edifícios
SGE	Sistema de Gestão de Energia
SME	Sistema de monitorização de Energia
TCP/IP	<i>Transmission Control Protocol</i>
TI	Transformador de Intensidade
SQL	<i>Structured Query Languages</i>
UE	União Europeia
UP	Universidade do Porto
URE	Utilização Racional de Energia
VCI	Via Cintura Interna do Porto
WAN	<i>Wide Area Network</i>
WEB	<i>World Wide Web</i>

#### Lista de símbolos

$\beta$	Ângulo de inclinação do coletor
$\gamma_s$	Ângulo de Elevação Solar
$\gamma$	Ângulo de Azimute
$\cos \varphi$	Fator de Potência
CO	Monóxido de Carbono

CO <sub>2</sub>	Dióxido de Carbono
Cu	Cobre
I	Intensidade de Corrente
L	Latitude
P	Potência Ativa
Q	Potência Reativa
S	Potência Aparente
U	Tensão
Z	Impedância





# Capítulo 1

## Introdução

### 1.1 - Enquadramento

No século XX, assistiu-se a um desinteresse generalizado perante as questões energéticas, tanto da sociedade em geral como dos próprios governos, conduzindo à ideia de que o crescimento económico, nos países desenvolvidos, poderia ser suportado apenas por fontes energéticas acessíveis e aparentemente inesgotáveis.

O carácter globalizante das alterações climáticas levou a que comunidade internacional se viesse a debruçar com maior empenho nas questões energéticas. A assinatura do Protocolo de Quioto constituiu um momento de viragem com vista à resolução desse mesmo problema.

A alteração de paradigma, não só tem evoluído de forma gradual, como tem vindo a assumir, na última década, um papel de destaque nas agendas políticas europeias e nacionais e uma maior consciência por parte da sociedade em geral.

O excessivo consumo de energia constitui um dos maiores problemas da sociedade atual. É no sector dos edifícios onde se evidencia um maior consumo de energia, consequência do aumento dos padrões de vida e da massificação da utilização de equipamentos diversos.

Se, por um lado, o setor dos edifícios é aquele que apresenta um maior consumo de energia, por outro, também é aquele que apresenta um maior potencial em termos de poupança energética. Por esta razão se considera haver razões mais do que válidas para que sejam adotadas estratégias de melhoria de eficiência energéticas nos edifícios.

Os edifícios da Universidade do Porto enquadram-se nesta tipologia atendendo aos seus elevados consumos energéticos e à idade avançada de alguns, daí a abertura de uma janela de oportunidade para a implementação de medidas de eficiência energética, por forma a reduzir os custos energéticos. As medidas implementadas, de melhoria de eficiência energética, de um conjunto de edifícios da UP, incidiram, de forma generalizada, ao nível do sistema construtivo (instalação de películas solares em vãos envidraçados e renovação de caixilharia eficiente) e dos sistemas técnicos (instalação de sistemas solar térmico, de baterias de correção do fator potência e de sistema de monitorização de energia).

## 1.2 - Objetivos do trabalho

O presente trabalho tem como principal objetivo o desenvolvimento de uma plataforma *Website* que, através dos dados provenientes de uma base de dados central do Sistema de Monitorização de Energia, permita a monitorização/tratamento dos dados recebidos, o que irá proporcionar uma grande flexibilidade de caracterização/exploração das instalações de utilização.

Os dados a monitorizar são relativos aos consumos energéticos e outras grandezas elétricas, de alguns edifícios que constituem o vasto património edificado da UP, que foram objeto de implementação de melhorias de eficiência energética, realizada no âmbito do Plano para a Eficiência Energética na Universidade do Porto (P3EUP), entre 2010 e 2012.

Para além do Sistema de Monitorização de Energia e da plataforma *Web*, também se faz referência às outras medidas de melhoria de eficiência energética implementadas no conjunto de Edifícios da UP, no âmbito do mesmo plano.

Neste estudo procurou-se dedicar especial atenção ao estudo das principais soluções de sistemas solares térmicos em edifícios, bem como à correção do fator de potências ao nível das instalações elétricas de utilização, como medidas de melhoria de eficiência energética, na reabilitação energética de edifícios.

Finalmente, pretende-se, dar um contributo para a obtenção de sugestões de medidas de melhoria de eficiência, que possam contribuir para a otimização dos sistemas estudados.

## 1.3 - Organização da dissertação

A presente dissertação é composta por sete capítulos, iniciando-se com uma introdução geral ao tema do trabalho e os objetivos no primeiro capítulo.

No segundo capítulo, será feita uma abordagem à temática da reabilitação energética de edifícios, descrevendo sucintamente as políticas internacionais e nacionais em matéria de eficiência energética, ou seja, legislação, planos, mecanismos de incentivos adotados nestas últimas duas décadas. Devido ao problema do fraco desempenho energético em alguns edifícios será evidenciada a importância da reabilitação energética de edifícios, com vista aumentar a sua eficiência energética.

No terceiro capítulo, serão identificadas e caracterizadas as medidas de melhoria de eficiência energética, implementadas do âmbito do programa P3EUP. Algumas dessas medidas serão objeto de caso de estudo nos capítulos seguintes.

No quarto capítulo, apresenta-se de uma forma sucinta alguns aspetos de caráter tecnológico associados à conversão de energia solar, descrevendo-se os principais problemas a tomar em consideração desde o projeto à instalação de sistemas solares térmicos na reabilitação energética de edifícios, sendo apresentado um caso de estudo, de um sistema solar térmico de um edifício, Residência de estudantes Universitária do Campo Alegre (RUCAI), no âmbito do P3EUP.

No quinto capítulo, será abordada a necessidade de efetuar a correção do fator de potência em edifícios, como uma medida de implementação de melhoria de eficiência energética em edifícios. Será apresentado o novo enquadramento legal para a energia reativa e uma breve descrição dos vários métodos de correção do fator de potência, descrevendo e analisando um caso de estudo, ao abrigo do programa P3EUP.

O sexto capítulo, contemplará a apresentação dos conceitos das redes comunicação de dados e a arquitetura do sistema de gestão de energia instalado nos edifícios do *Campus* da UP, no âmbito do programa PE3UP. Apresentando-se também o desenvolvimento de uma plataforma em *software Web*, integradora de informação, permitindo uma monitorização em tempo real das grandezas elétricas a medir, bem como os consumos efetuados e a identificação de prevenção de problemas, em cada edifício do *Campus* da UP.

No sétimo e último capítulo, apresentam-se as conclusões mais relevantes do presente trabalho, apontando-se possíveis desenvolvimentos futuros de trabalho.



## Capítulo 2

# Reabilitação energética de edifícios

A reabilitação energética do parque edificado é uma forma de promoção da eficiência energética, com benefícios ao nível do desenvolvimento sustentável. Através da implementação de medidas de melhoria de eficiência é possível dotar os edifícios existentes com um desempenho energético-ambiental equiparado a um edifício novo para o mesmo fim.

A reabilitação energética dos edifícios, como objetivo prioritário, está dependente de uma série de fatores, entre os quais se destacam: as políticas energéticas, os compromissos ambientais e a promoção de objetivos.

### 2.1 - O caminho para o desenvolvimento sustentável

Desde sempre, o Homem sentiu a necessidade de satisfazer as suas necessidades básicas mais elementares, tentando ir de encontro ao seu bem-estar.

O Homem procurou proteger-se da agressividade do meio envolvente (condições climáticas, animais, etc.), com vista à sua sobrevivência. Sendo este, nómada, a sua permanência num determinado local era condicionada pela abundância de alimentação espontânea e pela agressividade climática do local.

As primeiras casas surgiram durante o período Neolítico, quando o homem se começou a fixar. Eram construídas pelos mais diversos materiais, consoante os recursos naturais localmente disponíveis.

O clima era o elemento fundamental na escolha do tipo de construção, impondo, as suas regras. Verificou-se, assim, uma forte ligação entre o tipo de construção, o clima e os recursos naturais.

O século XIX foi marcado pela revolução industrial, período durante o qual surgiram grandes mudanças tecnológicas nos mecanismos dos sistemas de produção que, outrora, obedeciam a uma produção artesanal.

Com o desenvolvimento dos métodos de produção massificada, passou a ser possível aumentar a produção, a um ritmo mais acelerado, com preços mais competitivos, incentivando o consumo.

Apesar das grandes vantagens resultantes das inovações tecnológicas, também se verificaram algumas desvantagens, nomeadamente a substituição da mão de obra por

processos de produção mecânicos, contribuindo para o aumento do desemprego, bem como o rápido crescimento das cidades que se desenvolveu de forma desregulada tendo sido acompanhado pelo êxodo rural, conduzindo a um aumento substancial da poluição ambiental e sonora.

O uso continuado de energia, que se registou durante vários anos devido às transformações tecnológicas, não teve em consideração os gastos energéticos e o seu impacto no meio ambiente.

Com a crise petrolífera de 1973, este cenário altera-se na consequência de mais um conflito armado no Médio Oriente que desencadeou um embargo das exportações de petróleo para alguns países da Europa, resultando num aumento substancial do preço do petróleo.

Desta forma, a Europa e os Estados Unidos tomaram consciência da existência de uma dependência indesejada dos recursos energéticos convencionais (carvão, petróleo, etc.), em particular, provenientes do Médio Oriente. Embora a importância da procura de novas fontes de energia alternativas, esteja essencialmente relacionada com fatores de ordem política e económica, também desencadeou um ponto de viragem na consciencialização ambiental.

Em 1983, as Nações Unidas, criaram a Comissão Mundial para o Meio Ambiente e Desenvolvimento, mais conhecida por comissão Brundtland. Em 1987, essa comissão apresentou o relatório de Brundtland, subordinado ao tema “Our Common Future” (O Nosso Futuro Comum), onde foi formalizado o conceito de Desenvolvimento Sustentável: “O desenvolvimento que vai de encontro às necessidades das gerações presentes sem comprometer a capacidade de desenvolvimento das gerações futuras” [1].

Com a publicação do relatório Brundtland, a temática ambiental entrou definitivamente na ordem do dia com a realização de uma série de conferências e debates, tendo conduzido, em 1992, à realização de uma conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento - Cimeira da Terra, no Rio de Janeiro. Foi durante esta cimeira que o conceito de Desenvolvimento Sustentável foi definitivamente incorporado como um princípio.

Desta cimeira, surge a Agenda 21 que, constituindo um documento sem vínculo legislativo, estabeleceu a importância de cada país na reflexão e estudo de soluções sustentáveis globais e locais na vertente social, económica e ambiental.

No seguimento da terceira Convenção do Quadro das Nações Unidas sobre as alterações climáticas, realizada em 1997, em Quioto, no Japão, os países aderentes foram convidados a assinar o Protocolo de Quioto. Os países signatários comprometiam-se a reduzir as suas emissões de Gases de Efeito de Estufa (GEE) em pelo menos 5% em relação aos níveis de 1990 (caso de 39 países dos 160 participantes) e 8% nos países da EU, até o período entre 2008 e 2012 [2], contudo este protocolo só entrou em vigor em 2005, altura em que assume vínculo legal.

Nesta sequência, a Comunidade Europeia (CE) elaborou um conjunto de diretivas no qual define os limites de emissão de gases responsáveis pelo efeito de estufa, para cada país membro.

A redução das emissões deverá acontecer em várias atividades, como por exemplo nos setores da energia e dos transportes, através do uso de fontes energéticas renováveis.

O Protocolo de Quioto foi um marco histórico na temática das Alterações Climáticas ao nível mundial, pelo que nos anos seguintes foram promovidas outras conferências e publicados diversos documentos, entre os quais se destacam: o Programa Europeu para as Alterações Climáticas, em 2000; o encontro em Joanesburgo durante a Cúpula Mundial, em

2002; a publicação do livro verde, Estratégia Europeia para uma Energia Sustentável, Competitiva e Segura, em 2005; e a mais recente Conferência das Nações Unidas sobre Desenvolvimento Sustentável Rio+20, no Rio de Janeiro, em 2012.

Todas estas iniciativas têm como objetivo a identificação de políticas e medidas de ação rumo à sustentabilidade e o reconhecimento dos níveis económico, social e ambiental como pilares interdependentes do desenvolvimento sustentável.

## 2.2 - Diretivas Europeias no âmbito da eficiência energética

Ao longo das últimas duas décadas, a União Europeia (UE), tem vindo a enfrentar desafios sem precedentes resultantes do aumento da dependência das importações de energia, da escassez de recursos energéticos, da necessidade de limitar as alterações climáticas e de superar a crise económica [3].

A reabilitação energética de edifícios, através da implementação de medidas de melhoria de eficiência energética, constitui um instrumento valioso para vencer parte desses desafios. Neste sentido, a UE tem vindo a estipular metas, com a publicação de várias diretivas a implementar pelos seus Estados-Membros, nomeadamente na área da eficiência energética de edifícios:

- Diretiva 2002/91/CE [4], com o objetivo de promover a melhoria do desempenho energético dos edifícios, tendo em conta as condições climáticas externas e as condições locais, bem como as exigências em matéria de clima interior e a rentabilidade económica.
- Diretiva 2006/32/CE [5], relativa à eficiência na utilização final de energia e aos serviços energéticos. Esta diretiva veio a introduzir limites e objetivos mais ambiciosos em termos de eficiência energética e tem por objetivo, o seguinte, cada Estado-Membro deve adotar e procurar atingir um objetivo global nacional indicativo de economias de energia de 9% para o nono ano da aplicação da diretiva, a alcançar através de serviços energéticos e de outras medidas de melhoria da eficiência energética.
- Diretiva 2010/31/CE [6], relativa à eficiência energética dos edifícios. Esta diretiva permite alcançar e reforçar níveis de eficiência mais exigentes e reajustar algumas medidas constantes na diretiva inicial publicada em 2002. Estabelece a obrigatoriedade de que os edifícios novos, até 30 de dezembro de 2020, sejam edifícios com necessidade quase nula de energia e que no caso de edifícios públicos novos e detidos pela administração pública a partir de 31 de dezembro de 2018, seja edifícios com necessidades quase nulas. Os edifícios com baixas necessidades energéticas são denominados de “Nearly-Zero Energy Buildings”;
- Diretiva 2012/27/UE [3], relativa à eficiência energética dos edifícios. Esta diretiva revoga a diretiva 2006/32/CE, e estabelece um quadro comum de medidas de promoção da eficiência energética. Esta diretiva tem como objetivo ultrapassar as deficiências do mercado que impedem a eficiência na utilização da energia e atingir um mínimo de 20% de eficiência energética até 2020.

## 2.3 - Políticas energéticas e legislação em Portugal

Na sequência dos compromissos internacionais assumidos por Portugal dentro do quadro da UE e, tendo por base a aposta num modelo energético racional e sustentável, Portugal têm

vindo a desenvolver programas, planos e legislação, que permitem alcançar os objetivos fixados pelas metas impostas por parte da UE.

Apesar de Portugal apresentar alguns sinais de evolução energética, ainda detém um elevado grau de dependência externa. Razão pela qual a dinamização de medidas no âmbito da eficiência energética, a diversificação das fontes de energia primária e a necessidade de reduzir custos constituem uma prioridade, tendo em vista o desenvolvimento da sustentabilidade do país [7].

### 2.3.1 - Programas de apoio à reabilitação energética de edifícios

- **Programa E4**

O Programa E4 constitui um ponto de viragem em matéria de Eficiência Energética e Energias Endógenas, surgindo em Portugal em 2001. Este programa tinha como objetivo, através da “...promoção da eficiência energética e da valorização das energias endógenas, contribuir para a melhoria da competitividade da economia portuguesa e para a modernização da nossa sociedade, salvaguardando simultaneamente a qualidade de vida das gerações vindouras pela redução de emissões, em particular de CO<sub>2</sub>, responsável pelas alterações climáticas.” [8].

Na sequência das medidas apontadas no Programa E4 é lançado o Programa Nacional para a Eficiência Energética nos Edifícios (P3E), que constituiu um importante instrumento de definição de política energética, direcionado para o setor dos edifícios.

- **PNAEE, 2015**

Em 2008, através da Resolução de Conselho de Ministros n.º 80/2008, de 20 de maio, Portugal aprovou o Programa Nacional de Ação para a Eficiência Energética (PNAEE), Portugal Eficiente 2015, para o período 2008-2015, documento que engloba um conjunto alargado de programas e medidas consideradas fundamentais para que Portugal possa alcançar os objetivos no âmbito da Diretiva n.º 2006/32/CE relativa à eficiência na utilização final de energia e aos serviços energéticos [9].

O PNAEE incide sobre quatro áreas específicas, objeto de orientações de cariz predominantemente tecnológico: Transportes, Residencial e Serviços, Indústria e Estado. Adicionalmente, estabelece três áreas transversais de atuação - Comportamentos, Fiscalidade, Incentivos e Financiamentos - sobre as quais incidiram análises e orientações complementares. Todas as áreas referidas anteriormente agregam um conjunto de programas que integram de uma forma coerente um vasto leque de medidas de eficiência energética, orientadas para a procura energética [9].

Em termos de eficiência energética, o PNAEE estabelece como meta a alcançar até 2015, a redução do consumo final de energia em 10%.

No âmbito da política energética nacional, Portugal aprovou em 2010 a Estratégia Nacional para a Energia 2020 (ENE2020), que assenta em cinco eixos principais: i) agenda para a competitividade, o crescimento e a independência energética e financeira; ii) aposta nas energias renováveis; iii) promoção da eficiência energética; iv) garantia da segurança de abastecimento; e o v) sustentabilidade económica e ambiental.



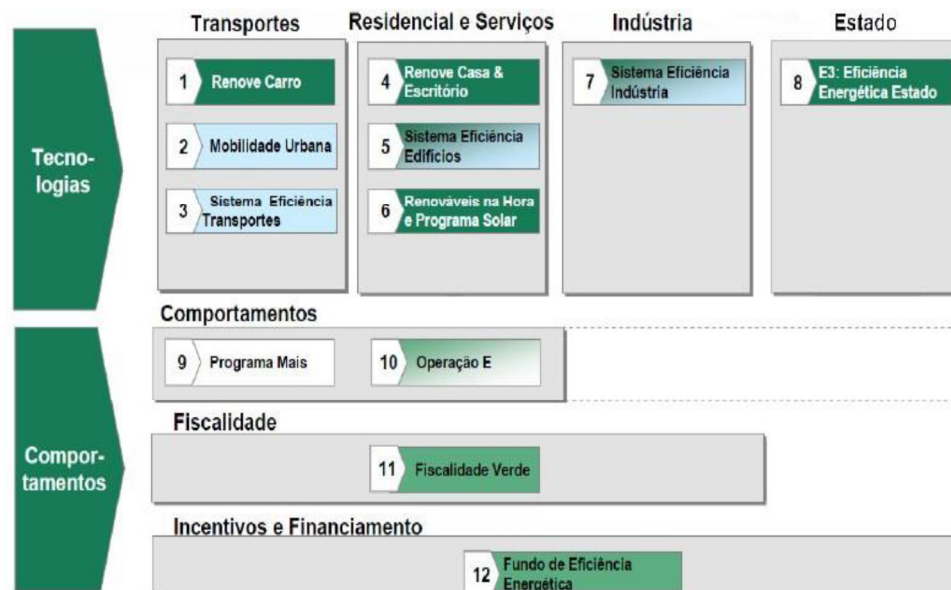


Figura 2.1 - Programas definidos para todas as áreas de atuação no PNAEE [10].

Na ENE 2020, o terceiro eixo têm como principal objetivo reduzir o consumo final de energia em 20% até 2020 [10].

- **ECO.AP**

Em 2011, através da Resolução de Conselho de Ministro n.º 2/2011, foi lançado o Programa de Eficiência Energética na Administração Pública (ECO.AP), que visa promover um aumento da eficiência energética na Administração Pública, nos seus serviços, edifícios e equipamentos.

O ECO.AP prevê a criação de um barómetro de eficiência energética para os edifícios do Estado, bem como a contratação de Empresas de Serviços Energéticos (ESE), com o intuito de estimular a economia através da atividade destas empresas, ao abrigo de Contratos de Serviço Energético. O plano em questão têm como principal objetivo atingir um nível de eficiência energética de 30% até 2020, permitindo ao Estado a redução da fatura energética [11].

- **PNAEE, 2016**

Na sequência, do conjunto de políticas energéticas aprovadas em anos anteriores, nomeadamente a Estratégia Nacional para a Energia 2020, o ECO.AP e a transposição para legislação nacional da Diretiva n.º 2012/27/EU, o Estado Português aprovou, através da Resolução de Conselhos de Ministros n.º 20/2013, um segundo PNAEE, para o período 2013-2016, que define as estratégias para a eficiência energética com base em três eixos de atuação: i) ação, através da adequação das medidas ao atual contexto económico-financeiro, tendo em vista a redução do custo global do programa nacional de eficiência energética; ii) monitorização, através da revisão dos métodos de monitorização de resultados e criação de uma visão macro do impacto do programa nacional de eficiência energética; e iii) governação, através da redefinição do modelo de governação do PNAEE [12].

### 2.3.2 - Legislação aplicável à eficiência energética/ reabilitação energética de edifícios

A adesão de Portugal à Comunidade Económica Europeia (CEE), em 1986, marca um ponto de viragem em matéria de políticas energéticas.

Em 1991, surgiu o primeiro Regulamento de Características do Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE), aprovado pelo Decreto-Lei n.º 40/90, 6 de fevereiro, que tinha como principais objetivos fornecer orientações, ao nível do projeto e de grandes remodelações de edifícios, dando cumprimento às condições mínimas de conforto térmico, tendo em linha de conta a redução dos consumos energéticos, tirando o maior partido das excelentes condições climatéricas de Portugal.

Em 1998, surge o primeiro Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios (RSECE), publicado pelo Decreto-Lei n.º 118/98, de 7 de maio, no qual foram estabelecidos limites e restrições na instalação de utilização de equipamentos e sistemas.

Contudo, estes dois regulamentos não foram suficientes para a redução dos gastos de energia nos edifícios, apesar dos esforços o consumo de energia continuava alto.

Em 2006, a transposição da Diretiva n.º 2002/91/CE, para a legislação nacional, resultou num pacote legislativo, composto por três Decretos-Lei, relativo ao desempenho energético dos edifícios:

- **Decreto-Lei n.º 78/2006, de 4 de abril**

Este diploma aprova o Sistema Nacional de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior nos Edifícios (SCE), supervisionado pela Direção Geral de Energia e Geologia (DGEG) e gerido pela Agência da Energia (ADENE).

O SCE tem como finalidade assegurar a aplicação regulamentar, certificar o desempenho energético e a qualidade do ar interior nos edifícios e identificar as medidas corretivas ou de melhoria de desempenho aplicáveis aos edifícios e respetivos sistemas energéticos, nomeadamente caldeiras e equipamentos de ar condicionado, quer no que respeita ao desempenho energético, quer no que respeita à qualidade do ar interior [13].

- **Decreto-Lei n.º 79/2006, de 4 de abril**

Este diploma aprova o Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios (RSECE).

Estabelece as condições a observar no dimensionamento de novos sistemas energéticos de climatização em edifícios, nomeadamente, os requisitos em termos de conforto térmico e de qualidade do ar interior e os requisitos de renovação e tratamento de ar, que devem ser assegurados em condições de eficiência energética.

Impõe os limites máximos de consumo de energia nos edifícios e os limites de potência aplicáveis aos sistemas de climatização.

Este regulamento estabelece também as condições de manutenção dos sistemas de climatização, de monitorização e de auditoria de funcionamento dos edifícios em termos dos consumos de energia e da qualidade do ar interior [13].

- **Decreto-Lei n.º 80/2006, de 4 de abril**

Este diploma aprova o Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE), estabelece as regras a observar no projeto de todos edifícios de habitação e de pequenos edifícios de serviço sem sistemas de climatização centralizados de modo a serem cumpridas as condições de conforto térmico, e as necessidades de água quente sanitária, sem dispêndio excessivo de energia, quer no Inverno quer no Verão. Impõe ainda, que sejam minimizadas situações patológicas nos elementos de construção provocadas pela ocorrência de condensações superficiais ou internas, com potencial impacto negativo na durabilidade dos elementos de construção e na qualidade do ar interior [13].

Em 2013, a transposição da Diretiva n.º 2010/31/UE, para a legislação nacional, que resultou na publicação do Decreto-Lei n.º 118/2013, relativo ao desempenho energético dos edifícios, revogou os Decretos-Lei anteriores: Decreto-Lei n.º 78/2006, de 4 de abril; o Decreto-Lei n.º 79/2006 de 4 de abril e o Decreto-Lei n.º 80/2006, de 4 de abril.

- **Decreto-Lei n.º 118/2013, de 4 de abril**

Este diploma visa assegurar e promover a melhoria do desempenho energético dos edifícios através do Sistema de Certificação Energética dos Edifícios (SCE) e respetivos regulamentos.

Atualização da legislação desencadeou alterações estruturais e de sistematização, agrupando num único diploma, o Sistema de Certificação Energética dos Edifícios (SCE), o Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação (REH) e o Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Comércio e Serviços (RECS).

Ao contrário dos antigos diplomas, atualmente passa a haver uma clara separação do REH e do RECS, sendo que o primeiro incide apenas nos edifícios de habitação e o último incide, exclusivamente, sobre os edifícios de comércio e serviços.

Esta separação facilita o tratamento técnico e a gestão administrativa dos processos, assim como reconhece as especificidades técnicas mais relevantes para cada tipo de edifício, permitindo uma melhor caracterização energética que, por sua vez, facilita a deteção de melhorias no desempenho energético [13].

## 2.4 - Investimento em reabilitação energética de edifícios

De forma a apoiar as políticas energéticas nacionais foi definido um conjunto de mecanismos de incentivos e financiamentos para o programa inserido no PNAEE.

- **Fundo de Eficiência Energética**

O Fundo de Eficiência Energética (FEE) é um instrumento financeiro que foi criado ao abrigo do Decreto-Lei n.º 50/2010, de 20 de maio, que se encontra regulamentado pela Portaria n.º 26/2011, de 10 de janeiro, e tem como objetivo financiar os programas e medidas previstas no PNAEE, de forma a incentivar a eficiência energética [14].

- **Fundo de Apoio à Inovação**

O Fundo de Apoio à Inovação (FAI) foi criado em dezembro de 2008, tem como objetivos o apoio à inovação, ao desenvolvimento tecnológico e ao investimento nas áreas das energias renováveis e da eficiência energética, com vista à concretização das metas definidas no PNAEE e no ENE 2020 [15].

- **Plano de Promoção da Eficiência no Consumo de Energia Elétrica**

O Plano de Promoção da Eficiência no Consumo de Energia Elétrica (PPEC), criado em 2007, tem como objetivo prioritário apoiar financeiramente iniciativas que promovam a eficiência e redução do consumo de eletricidade nos diferentes segmentos de consumidores.

## **2.5 - Importância da reabilitação energética de edifícios**

Os edifícios são os principais responsáveis pelo aumento do consumo energético em Portugal, contribuindo de forma negativa, em termos de impacto ambiental, através da emissão GEE para a atmosfera. Em Portugal, o consumo de energia dos edifícios representa cerca de 28% (13% dos quais com uso residencial e 9% de serviços) do consumo de energia final do país [16].

Perante este fato, urge travar o consumo energético, promovendo a melhoria da eficiência energética dos edifícios.

A reabilitação energética de edifícios constitui uma importante oportunidade para a correção de inadequadas funcionalidade e conforto onde, através da implementação de medidas de melhoria de eficiência energética, é possível conferir a um edifício existente um comportamento energético idêntico a um edifício novo.

Desta forma, a reabilitação energética de edifícios apresenta as seguintes vantagens: o aumento do nível de conforto e de bem-estar dos seus ocupantes; a melhoria da qualidade térmica no edifício; a otimização dos consumos energéticos e de recursos; a otimização dos custos de exploração e manutenção do edifício e prolongamento do seu ciclo de vida; e o aumento da classe energética do edifício.

## **2.6 - Caracterização e identificação de anomalias**

De forma genérica, tanto os edifícios construídos antes das décadas de 60, como nas duas décadas subsequentes, apresentam um estado de degradação avançado acumulado ao longo dos tempos, em virtude dos fracos investimentos promovidos por parte dos promotores ou da Administração Pública. De salientar que grande partes destes edifícios foram construídos antes da existência de qualquer tipo de regulamentação em matéria de eficiência energética.

A necessidade de intervir ao nível reabilitação energética decorre da existência de um conjunto anomalias, entre as quais se destacam: a ausência de isolamento térmico e anomalias de índole não estrutural nas paredes exteriores e coberturas; a deficiência no

sistema de impermeabilização da cobertura, muretes e platibandas; a degradação dos vãos envidraçados; e a má gestão das instalações e sistemas.

## 2.7 - Metodologia de intervenção na reabilitação energética de edifícios

Perante um parque edificado bastante heterogéneo é necessário caracterizar e diagnosticar as anomalias identificadas, tendo em consideração as especificidades inerentes a cada edifício. Estabelecer a melhor estratégia de intervenção, pressupõe procurar a melhor solução custo/benefício, conciliando os interesses do promotor e as condicionantes regulamentares.

As medidas de melhoria de eficiência energética nos edifícios estruturam-se em três grupos principais:

- Reabilitação térmica da envolvente do edifício
  - Reforço da proteção térmica das paredes exteriores;
  - Reforço da proteção térmica das áreas da cobertura;
  - Reforço da proteção térmica das áreas dos pavimentos;
  - Reforço das propriedades dos vãos envidraçados;
  - Recurso a sistemas solares passivos (sombreamento solar, películas sobre os vãos envidraçados);
- Recursos a tecnologias solares ativas
  - Recurso a sistemas solares ativos (solar térmico e solar fotovoltaico);
- Reabilitação energética dos sistemas e instalações
  - Remodelação de centrais térmicas;
  - Adoção de equipamentos e instalações de iluminação de baixo consumo;
  - Correção do fator de potência da instalação de utilização;
  - Sistemas de monitorização de energia
  - Entre outras.

As medidas de melhoria, acima enumeradas, procuram ser tecnicamente adequadas, economicamente viáveis, proporcionando mais-valias ao nível do desempenho energético-ambiental dos edifícios.

### 2.7.1 - Fase do processo de reabilitação

Um processo de reabilitação energética de edifício é composto por três fases principais, que se traduzem no diagnóstico/auditoria energética, na elaboração do projeto de execução e, finalmente, na realização da intervenção.

A figura 2.2 esquematiza o diagrama de fluxo, das diversas fases do processo de reabilitação energética de edifícios.

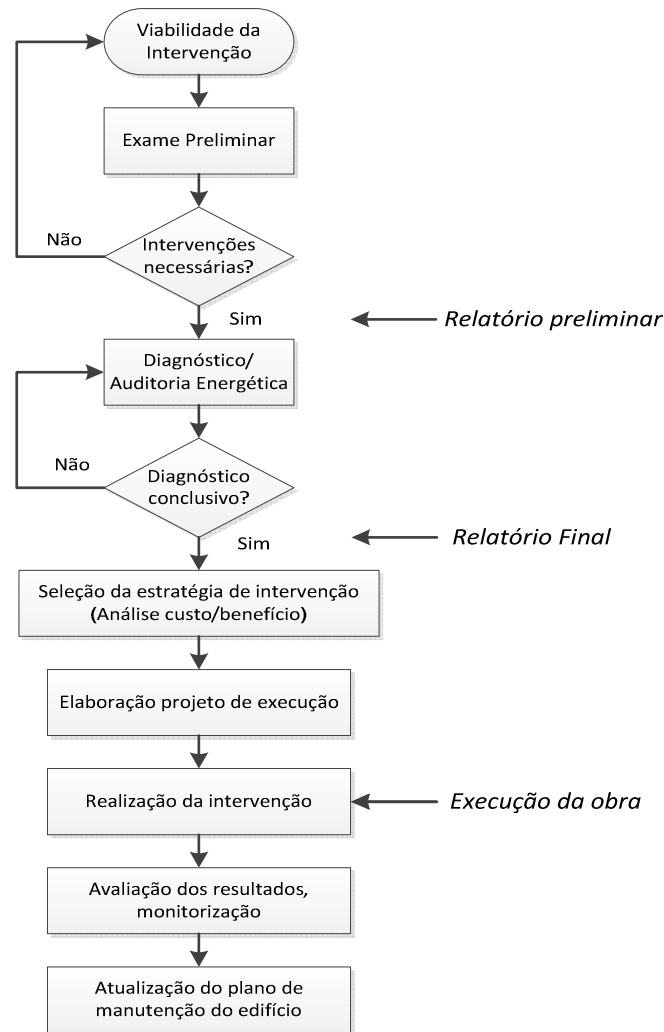


Figura 2.2 - Diagrama de fluxo, fase do processo de reabilitação [17].

De seguida, descrevem-se, de uma forma sucinta, as fases do processo de reabilitação energética de um edifício.

- **Viabilidade da intervenção**

Quando se pretende realizar uma operação de reabilitação energética num edifício, existem alguns aspetos que, numa fase inicial, deverão ser considerados, nomeadamente a definição do programa, por parte do promotor da obra, e uma análise de viabilidade, que pressupõem uma ponderação das condições de exequibilidade da intervenção em termos técnicos e económico-financeiros. Para além do referido, também se deverá ter em consideração as condições do edifício e o tempo disponível para a realização das intervenções.

- **Diagnóstico ou auditoria energética**

O diagnóstico/auditoria energética corresponde à segunda fase do processo de reabilitação energética de edifícios, que consiste no estudo das condições de utilização de energia do edifício, devendo ser realizado o levantamento, caracterização e simulação

dinâmica, bem como a identificação das anomalias do mesmo. No relatório final da auditoria energética deverá constar a identificação de oportunidades de melhoria do desempenho energético, com o intuito de diminuir os consumos energético no edifício.

- **Seleção da estratégia de intervenção (análise custo/benefício)**

É com base nas recomendações mencionadas no relatório final da auditoria energética, que se irá proceder à delineação da estratégia de intervenção, tendo em vista a apresentação de soluções mais eficientes em termos de custo/benefício.

- **Elaboração do projeto de execução**

Seguidamente deve-se proceder à elaboração do projeto de execução, que deverá contemplar a elaboração de peças escritas e desenhadas, onde conste a descrição e dimensionamento, de forma detalhada, das diversas intervenções a realizar. O projeto de execução deverá ser objeto de uma rigorosa coordenação ao nível dos projetos parcelares, entre as diversas especialidades, de forma a obter uma conceção integrada do mesmo. O sucesso da intervenção dependerá, em grande medida, da elaboração da pormenorização das medidas corretivas, da calendarização da implementação das mesmas e da realização do plano de manutenção para o edifício.

- **Realização da intervenção**

Após a conclusão das diferentes fases, anteriormente descritas, estão reunidas as condições para a adjudicação e início dos trabalhos. Devido à especificidade dos trabalhos a realizar, estes devem ser acompanhados pelo projetista por forma a prevenir eventuais imprevistos que possam surgir no decorrer dos trabalhos. Durante a intervenção serão de evitar pequenos erros de execução, na medida em que simples reparações/correções poderão constituir um custo acrescido. Para uma gestão eficiente da intervenção é recomendável a contratação de uma equipa de fiscalização que garanta a correta execução dos trabalhos e proceda a um controlo técnico-financeiro.

- **Avaliação dos resultados, monitorização**

Concluída a realização da intervenção, deve-se proceder a uma nova avaliação do desempenho energético do edifício, tendo em vista a emissão de um novo certificado energético, bem como à monitorização dos consumos energéticos do mesmo.

- **Atualização do plano de manutenção do edifício**

Depois de todo o investimento realizado é necessário garantir operações de manutenção regulares ao edifício, em termos globais, de forma a garantir uma exploração eficiente do mesmo. A reabilitação energética constitui uma das vertentes com maior interesse entre o conjunto de medidas de reabilitação de edifícios.

## 2.8 - Avaliação técnico-económica da reabilitação energética

Presentemente impõe-se que as medidas de melhoria de desempenho energético da envolvente de edifícios e dos seus sistemas, devam assegurar níveis ótimos de rentabilidade económica, ou seja, o seu desempenho deve garantir benefícios energéticos durante a vida útil da medida de melhoria, que compensem os custos de investimento inicial e de manutenção.

Para a avaliação tecno-económica de cada medida de melhoria de eficiência energética, anteriormente descritas, é possível recorrer à utilização do programa OPTITERM-LC (disponível em <http://www.optiterm-lfc.com/>), de modo a simular e obter toda a informação técnica, bem como os investimentos iniciais, a poupança energética e o período de retorno [18].

## 2.9 - Conclusão

Ao longo deste capítulo foram abordadas as principais áreas de atuação e respetivas políticas em matéria de eficiência energética/reabilitação energética em edifícios, vista como sendo uma das estratégias mais eficazes para alcançar a sustentabilidade.

Perante um fraco desempenho energético-ambiental dos edifícios, que tem vindo a ganhar maior expressão, em particular, nos últimos anos, torna-se imperativo proceder à reabilitação energética dos edifícios, através da implementação de medidas de melhoria de eficiência energética.

Foi ainda apresentada uma metodologia de intervenção (decomposta na suas diferentes fases de atuação) ao nível da reabilitação energética de edifícios, que se apresenta bastante promissora nomeadamente na melhoria do conforto térmico e na otimização dos consumos energéticos em edifícios.





## Capítulo 3

# Eficiência energética nos edifícios da UP

### 3.1 - A Universidade do Porto e o seu património

A Universidade do Porto (UP) é uma instituição de ensino superior, fundada em 1911, logo após a implantação da República em Portugal. No entanto, as suas raízes remontam a 1762, aquando da criação da Aula de Náutica por D. José I. Esta escola e as suas sucessoras (Aula de Debuxo e Desenho, criada em 1779; Academia Real da Marinha e Comércio, criada em 1803; e Academia Politécnica, criada em 1837) foram determinantes para a formação de pessoal qualificado na área naval, no comércio, na indústria e nas artes ao longo do séc. XVIII e XIX. Em 1825 é fundada a primeira escola médica do Porto - a Real Escola de Cirurgia - que em 1836 foi transformada em Escola Médico-Cirúrgica, constituindo outro vetor de formação da UP.

Se a UP surge, numa fase inicial, estruturada em duas faculdades (Ciências e Medicina), ao longo do século XX, assistiu-se a uma diversificação de saberes e autonomização de escolas. No início do século surgem três faculdades: a Faculdade Técnica, em 1915 (rebatizada em 1926 de Faculdade de Engenharia); a Faculdade de Letras, em 1919; e a Faculdade de Farmácia, em 1921.

Durante o regime autoritário, nascido do movimento militar de 28 de maio de 1926, o crescimento da UP abrandou. Nesta sequência, a Faculdade de Letras foi extinta em 1928, tendo sido restabelecida em 1961. Durante este período apenas a Faculdade de Economia foi criada de raiz, mais concretamente, em 1953.

A revolução de Abril de 1974 vai constituir um ponto de viragem na expansão da UP, que se vai prolongar até ao fim do século XX. Para além das seis faculdades já existentes, foram constituídas mais oito: Instituto de Ciências Biomédicas Abel Salazar, em 1975; Faculdade de Desporto, em 1975; Faculdade de Psicologia e de Ciências da Educação, em 1977; Faculdade de Arquitetura, em 1979; Faculdade de Medicina Dentária, em 1989; Faculdade de Ciências da Nutrição e da Alimentação, em 1992; Faculdade de Belas Artes, em 1992; e Faculdade de Direito, em 1994. Para além das faculdades acima mencionadas, atualmente a UP, conta com uma escola de pós-graduação, a Escola de Gestão do Porto, criada em 1988 e cuja designação passou a ser Escola de Negócios da Universidade do Porto a partir de 2008.

No início do século XXI, e na sequência das reformas implementadas ao nível do ensino superior, por parte do Estado Português, a UP passou a prever a adoção do modelo fundacional de universidade, ou seja, passou a constituir uma fundação pública com regime de direito privado [19].

A UP, enquanto instituição de ensino e de investigação, é considerada uma referência a nível nacional e internacional, pautando-se pela sua excelência na investigação e pela qualidade na formação, bem como de infraestruturas, instalações e equipamentos.

“A Universidade do Porto tem por Missão a criação de conhecimento científico, cultural e artístico, a formação de nível superior fortemente ancorada na investigação, a valorização social e económica do conhecimento e a participação ativa no progresso das comunidades em que se insere.” [20].

De forma sucinta e segundo o atual plano estratégico 2011-2015, em vigor, a UP articula-se em torno de cinco eixos principais:

- Oferecer um ensino baseado na excelência e diferenciação;
- Ser uma referência na Investigação;
- Manter o reconhecimento internacional da Universidade;
- Integrar a Universidade no ambiente através do exercício da Responsabilidade Social;
- Implementar Sistemas de Gestão eficientes.



**Figura 3.1** - Edifício da reitoria da UP [19].

A história da UP encontra-se refletida num vasto património edificado, que tem vindo a ser adquirido ao longo dos tempos, desde o século XVIII, até aos nossos dias.

Se por um lado, o património edificado da UP é constituído por edifícios muito antigos, de elevado valor patrimonial, maioritariamente localizados no centro da cidade do Porto, por outro lado, a UP também é detentora de um conjunto de edifícios mais ou menos recentes, localizados nas zonas mais periféricas.

Em 2009, a UP através do seu centro de recursos e serviços comuns elaborou um plano de eficiência energética do seu património edificado, com o objetivo de identificar medidas de melhoria de eficiência energética no seu património.

Com base num diagnóstico preliminar resultante da inspeção dos edifícios e por recolha de informação juntos dos responsáveis pela manutenção e gestão dos edifícios, foi possível realizar esse plano.

Esse plano permitiu, também, o desenvolvimento do processo com vista à tomada de decisão estratégica, na implementação de medidas de melhoria de eficiência energética, ao abrigo da legislação em vigor, na perspetiva de reduzir o consumo energético no património edificado da UP.

No decorrer do mesmo ano, o Estado Português e a UP celebraram um protocolo, ao abrigo da Iniciativa para o Investimento e o Emprego, tendo por objetivo a regulação dos direitos e das obrigações do Estado com a UP. A comparticipação pelo Estado incidiu na realização das auditorias energéticas e da qualidade do ar interior dos edifícios, incluindo a certificação energética do património edificado, por parte da ADENE, bem como das empreitadas de reabilitação energética, a realizar pela UP, com vista à melhoria da eficiência energética do seu património edificado [21].

No entanto, dada a celeridade com que se pretendia desenvolver algumas das ações, foram identificadas e quantificadas, com base no diagnóstico preliminar, um conjunto de ações a implementar que se passa a descrever.

O Plano de Eficiência Energética nos Edifícios da Universidade do Porto, denominado (P3EUP), destina-se a identificar as medidas de melhoria de eficiência energética aplicáveis aos edifícios da UP. Parte das iniciativas do plano consistem em auditorias, medições, certificações e elaboração de planos detalhados de ação, manutenção e comportamento, nos edifícios descritos no anexo 1.

## **3.2 - Auditoria Energética e da Qualidade do Ar Interior**

### **3.2.1 - Auditoria energética**

A auditoria energética consiste num exame detalhado das condições de utilização de energia num edifício, com vista à identificação de oportunidades de racionalização energética, através de medidas tecno-económicas viáveis, com o objetivo de reduzir não só os consumos energéticos e respetivas faturas, mas também as emissões dos GEE, tendo sempre como referência as condições de exploração e de ocupação do edifício.

### **3.2.2 - Auditoria da Qualidade do Ar Interior**

À data da implementação do programa P3EUP, todos os edifícios existentes do património edificado da UP, estavam obrigados a uma auditoria de Qualidade Ar Interior (QAI) em cada 2, 3 ou 6 anos, consoante a tipologia do edifício.

A auditoria acima descrita é baseada em dados reais de consumo, e deve igualmente ser baseada em modelos de simulação detalhada que consiga justificar os consumos reais com a

precisão pretendida, podendo-se, no entanto, recorrer ao modelo utilizado para o processo de licenciamento do edifício.

A auditoria da QAI, aos edifícios abrangidos pelo Sistema Nacional de Certificação (SCE), encontra-se definida e especificada no RSECE, à data em vigor.

No caso do património edificado da UP, as auditorias de QAI, verificaram o cumprimento dos requisitos QAI que incluem valores máximos de concentração de poluentes físico-químicos no ar interior em partículas em suspensão (frações PM10), dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), monóxido de carbono (CO), ozono, formaldeído, compostos orgânicos voláteis, fungos, bactérias e, em determinados casos, *Legionella spp* e radão, de acordo com regulamento em vigor e manutenção dos sistemas em condições de higiene de forma a garantir a QAI.

Com a transposição da Diretiva n.º 2010/31/EU para a lei nacional, através do Decreto-Lei n.º 118/2013, que implica a revisão do RSECE para o atual RESC, são eliminadas as auditorias de QAI, mantendo-se a necessidade de se proceder ao controlo das fontes de poluição e à adoção de medidas preventivas, de forma a cumprir os requisitos legais para a redução de possíveis riscos para a saúde pública.

### 3.2.3 - Simulação dinâmica de edifícios

A simulação dinâmica é um método de análise computacional dos sistemas energéticos de um edifício que são necessários para manter o conforto térmico para os ocupantes (ou conteúdo) desse edifício.

O anexo VIII do RSECE define os aspetos que este tipo de modelo computacional deve incluir, nomeadamente as características da envolvente do edifício, o ficheiro climático de acordo com a zona, sistemas de climatização, ventilação, iluminação, etc. [13].

Esta fase do processo de certificação energética pressupõe a existência prévia de um levantamento de campo exaustivo do ponto de vista da envolvente, densidade iluminação, equipamentos, sistemas de climatização e tratamento de ar, ocupação, horários de funcionamento, bem como de algumas medições ao nível do ar novo, da eficiência dos equipamentos de climatização, entre outros.

A simulação dinâmica do edifício pode ser de modo sucinto decomposta em duas partes: simulação real e simulação nominal. A simulação em condições reais tem como objetivo a calibração do modelo computacional através da comparação entre os consumos energéticos reais, discriminados em faturas ou obtidos através de contagens no local, com os consumos obtidos numericamente, validando o modelo sempre que a diferença entre eles seja inferior a mais ou menos 10%. Isto implica que haja uma parametrização do modelo computacional do edifício com todas as informações obtidas nos levantamentos, devendo o levantamento ser o mais exaustivo possível de modo a que se consiga obter um modelo realista.

Após a validação do modelo computacional, procede-se à simulação em condições nominais com os dados de consumo da auditoria, em que se mantém parte das características reais do edifício, nomeadamente: envolvente, iluminação e sistemas de climatização, substituindo todos os horários, ocupação, densidades de equipamento, temperaturas de conforto e caudais de ar novo pelos impostos pelo regulamento para cada tipologia de espaço, sendo o Índice de Eficiência Energética (IEE) obtido do modelo posteriormente comparado com os limites permitidos pelo RSECE.

### 3.3 - Certificação energética edifícios

A certificação energética de edifícios é um procedimento formal e normalizado da auditoria de edifícios sendo atualmente um processo obrigatório no âmbito do SCE. A implementação desta medida, constante no PNAEE, é uma prioridade para os objetivos da Administração Pública, sendo uma prioridade a sua aplicação a todos os edifícios do Estado.

A avaliação energética e a emissão do certificado são realizadas por um perito qualificado, que é responsável pela condução do processo de certificação, assegurando o cumprimento do SCE.

No certificado é indicado a classe de desempenho energético, também designada pela “etiqueta energética”, variando numa escala de A+ a F, dispostas na figura 3.2, em que a classe A+ corresponde a um edifício de alta eficiência energética e a classe F retrata um edifício com pior desempenho energético.



Figura 3.2 - Etiqueta de classe de eficiência energética [13].

### 3.4 - Planos de gestão da manutenção

A eficiência energética passa pela garantia da continuidade de bom funcionamento dos equipamentos e, consequentemente, pela sua manutenção.

Os planos de manutenção são essenciais para manter a longo prazo a boa utilização dos investimentos em equipamento apresentados neste plano.

Foram realizados planos de manutenção para todos os edifícios do património edificado da UP, recolhendo-se toda a informação sobre equipamentos instalados, onde se definiu um plano de manutenção para cada um deles.

Para além dos aspetos relacionados com os equipamentos foram estruturados planos de ação, requisitos e recomendações de procedimentos para os técnicos de manutenção dos edifícios. Posteriormente, esta informação e estes planos serão implementados em sistemas de gestão da manutenção.

Existem determinados elementos de uma instalação que, quando controlados corretamente, têm um impacto positivo na utilização da energia e dos recursos naturais, melhorando assim a qualidade e o conforto das instalações. A criação de um plano de gestão da manutenção permite o controlo dos elementos da instalação e uma maior eficiência energética. Dependendo das características e funções de um edifício, normalmente são

analisados: os equipamentos elétricos/mecânicos, os isolamentos das tubagens do próprio edifício e os sistemas de aquecimento e arrefecimento (substituição de filtros e verificação dos sistemas de recuperação de calor), etc.

### **3.5 - Planos comportamentais na eficiência energética**

Uma das maiores dificuldades na redução dos consumos nos edifícios públicos é a alteração dos comportamentos dos seus utilizadores. Através de um plano comportamental é possível identificar formas de ação e criar mecanismos de sensibilização, incentivos, penalizações e responsabilização relativamente a alguns comportamentos menos corretos. Para esta implementação é essencial ter sistemas de medição desagregados, usando os equipamentos a instalar no âmbito da instalação do sistema de monitorização de energia.

O comportamento humano é o procedimento ou o conjunto de reações observáveis em indivíduos em determinadas circunstâncias. Podendo ser descrito como uma contingência tríplice composta de antecedentes/respostas/consequências ou respostas de um membro da contingência.

Como consequência da alteração dos comportamentos dos utilizadores de uma dada instalação elétrica/água ou gás, podem seguir reduções ou aumentos do consumo de energia.

Usa-se o princípio de alteração do comportamento do utilizador final da tecnologia ou equipamento, com vista à redução do consumo energético.

### **3.6 - Medidas de melhoria de desempenho energético ao nível da envolvente do edifício**

Com a implementação de medidas de melhoria de desempenho energético num edifício existente, ao nível da sua envolvente, podem ser obtidos ganhos energéticos em resultado da diminuição do consumo de energia, bem como a diminuição do risco de ocorrência de patologias.

A superfície de contacto de um edifício com o exterior, nomeadamente ao nível dos vãos envidraçados, merece especial atenção com vista à sua caracterização energética, pois são determinantes para um bom desempenho do edifício na sua vertente passiva (iluminação e ventilação natural).

#### **3.6.1 - Caixilharia eficiente**

Os vãos envidraçados de um edifício não dispensam a utilização de caixilharia. A caixilharia é o elemento de transição entre áreas opacas e as áreas envidraçadas, que permitem a fixação dos painéis de vidro a outros elementos da construção, como paredes e coberturas sustentando os mesmos.

Apesar de representar uma proporção aparentemente pequena na envolvente, as funções da caixilharia são extremamente importantes para o edifício.

A caixilharia garante a estanquicidade dos espaços interiores, absorvendo as mais diversas solicitações (tais como: a chuva, a força do vento, etc.) dando um importante contributo para um aumento do desempenho energético do edifício.

Uma caixilharia eficiente, figura 2.1, à direita, é constituída por vários elementos, os quais variam consoante o tipo de material e tipologia utilizada. Pode-se considerar como elementos base constituintes de uma caixilharia: o aro fixo, as folhas (fixas ou móveis), os vidros duplos ou triplos, os bites, as ferragens (dobradiças e mecanismos de fecho) e as borrachas de selagem.

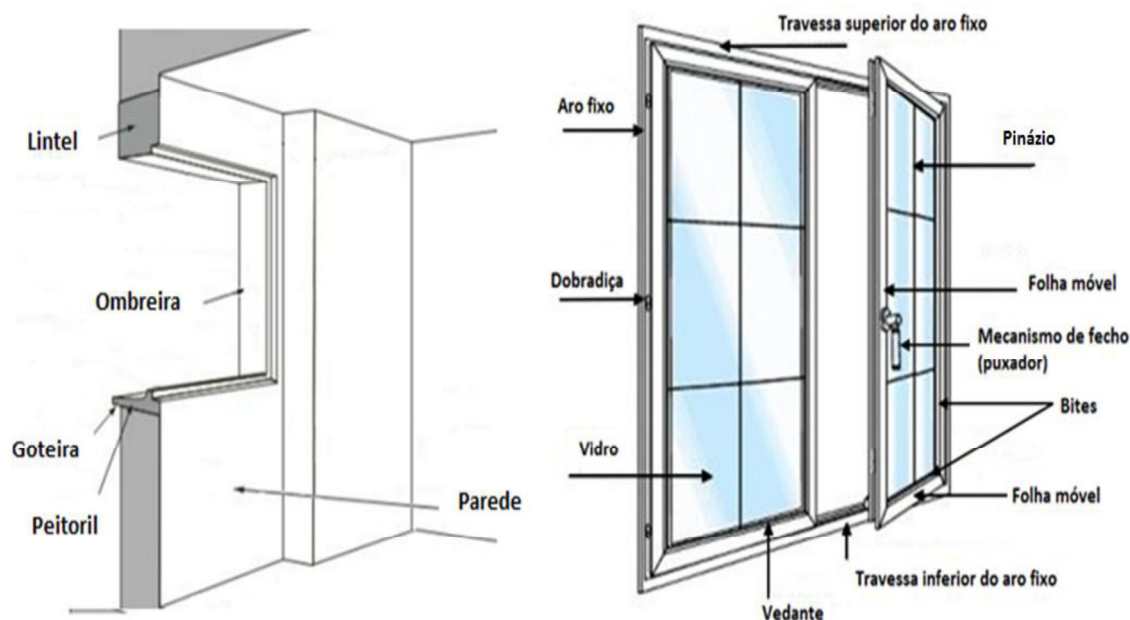


Figura 3.3 - Caixilharia eficiente

Ao nível dos requisitos funcionais, o conjunto das caixilharias do edifício é considerado como um subsistema do edifício e deve atender a vários requisitos que influem no seu desempenho, como as condições de salubridade, necessárias a assegurar as condições de ventilação que garantam as taxas mínimas de renovação de ar, garantindo assim a qualidade do ar interior, o isolamento térmico e acústico, controlo da iluminação, a facilidade de utilização, a estabilidade estrutural, a manutenção, a estética, a segurança.

Relativamente à intervenção, realizada no âmbito do P3EUP, foram instaladas caixilharias termicamente eficientes, no edifício da residência de estudantes universitária do Campo Alegre (RUCA I). A caixilharia reúne as seguintes características técnicas:

- Enchimento: 26mm;
- Permeabilidade ao ar: classe 3 e 4;
- Estantidade à água: classe E900;
- Resistência ao vento: classe C3 e C5;
- Eficiência térmica:  $U_f = 3,7$  e  $5,9 \text{ W/m}^2$  e  $U_w = 2,0$  e  $3,7 \text{ W/m}^2$ ;
- Comportamento acústico:  $RW = 34 \text{ dB}$  (-1, -4).

### 3.6.2 - Películas solares

Sendo os vãos envidraçados de um edifício (portas e janelas), o elemento que permite o contacto visual com o exterior e, ao mesmo tempo a entrada de iluminação natural, é importante que não se torne num problema de desempenho térmico do edifício, quando se



trata de questões de aumento da carga térmica devido à incidência de radiação solar nos vãos envidraçados, provocando o efeito de estufa no interior dos compartimentos.

Através da implementação de medidas com vista a melhorar o desempenho térmico do edifício, é possível intervir ao nível de um vidro transparente convencional, de forma a aproximar o seu desempenho ao de um vidro de baixa emissividade, sem ser necessário a sua substituição. Embora o desempenho não seja tão eficiente, nem passe por uma solução tão duradora, através da aplicação de uma película solar na face exterior ou interior do vidro transparente convencional, consegue-se reduzir a quantidade de ganhos solares que passará para o interior do edifício.

A aplicação de películas solares sobre os vãos envidraçados confere uma proteção de infravermelhos e raios UV, mantendo a entrada de luz natural e um bom desempenho térmico.

Relativamente à intervenção, realizada no âmbito do P3EUP, foram aplicadas cerca de 1015m<sup>2</sup> de películas solares, sobre os vãos envidraçados, nos edifícios descritos no anexo 2. As películas possuem as seguintes características técnicas:

- Luz visível transmitida: 21%;
- Rejeição dos raios UV, aproximadamente: 100%;
- Rejeição do total de energia solar: 65%;
- Espessura da película: 45μ;
- Proteção anti-risco: sim;

### **3.7 - Medidas de melhoria de desempenho energético ao nível das instalações térmicas**

O conforto térmico não é hoje em dia um luxo, mas sim cada vez mais uma necessidade essencial. Um ambiente interior confortável é sinónimo de um ambiente saudável. Mas é também sinónimo de bem-estar e qualidade de vida.

No que se refere às instalações térmicas, as medidas de melhoria de eficiência energética têm como objetivo a adequação dos sistemas e instalações, não só face à nova legislação mas também numa perspetiva de minimização do consumo energético e de impacte ambiental.

#### **3.7.1 - Requalificação de central térmica**

A requalificação de uma central térmica de um edifício, tem como principal objetivo, melhorar o índice de eficiência energética do edifício, reduzindo o consumo de energia convencional e, em simultâneo, proporcionando uma redução/eliminação das patologias construtivas, bem como uma redução dos custos de manutenção/exploração do edifício.

Ao aumentar a eficiência no funcionamento global do sistema e a integridade do conjunto das instalações hidráulicas são, ao mesmo tempo, melhoradas as acessibilidades à manutenção preventiva e corretiva, de modo a garantir a disponibilidade dos equipamentos instalados e garantir a sua longevidade.

Com a requalificação de uma central térmica, é possível identificar algumas melhorias:

- Diminuição do custo energético mediante a substituição do combustível de aquecimento (nafta ou gasóleo de aquecimento) por outro cujo custo energético atualmente seja mais reduzido (gás natural).
- Aumento da eficiência energética na geração de calor. Assim, para fornecer a mesma energia útil, para atender às necessidades do edifício, o gerador de calor vai empregar menos energia.
- Melhoria da instalação ambiental através da substituição de um combustível, como diesel (com maior taxa de emissões de CO<sub>2</sub> e outros gases nocivos (NO<sub>x</sub> e SO<sub>x</sub>)), por outro como gás natural (menor taxas de emissões de GEE).

Relativamente à intervenção, realizada no âmbito do P3EUP, foi remodelada a central térmica da residência de estudantes universitária Jayme Rios de Sousa.

### 3.7.2 - Instalação de sistemas solares térmicos

Uma grande percentagem dos edifícios do património da UP não têm sistemas solares, pelo que a simples inclusão de um sistema solar térmico constitui, por si só, uma medida de melhoria de eficiência energética importante.

Os sistemas solares térmicos proporcionam uma contribuição de energia renovável ao edifício, na medida em que permitem utilizar a energia solar para produção de águas quentes sanitárias (AQS) e aquecimento de água.

A superfície do coletor solar térmico transforma a radiação solar em energia térmica. Esta energia térmica é absorvida pelo fluido térmico que se encontra dentro do coletor e é transportado, através de tubos devidamente isolados, até aos depósitos de acumulação de AQS.

Estes sistemas podem interligar diferentes equipamentos de apoio, nomeadamente termoacumuladores elétricos e caldeiras (para aquecimento de águas de pisos radiantes, aquecimento central ou produção de AQS).

A contribuição dos sistemas solares térmicos, designada pelo parâmetro  $E_{\text{solar}}$ , depende de vários critérios, nomeadamente:

- Tipo e características do coletor solar;
- Fração Solar;
- Localização da instalação;
- Sombreamento;
- Inclinação do coletor solar.

Relativamente à intervenção, realizada no âmbito do P3EUP, foram instalados cerca de 610m<sup>2</sup> de coletores solares, nos edifícios da UP descritos no anexo 3.

### 3.7.3 - Instalação de válvulas termostáticas

Uma outra medida que permite contribuir para uma melhoria do desempenho energético dos edifícios, é a instalação de válvulas termostáticas na rede hidráulica de aquecimento central. Estas permitem uma regulação térmica adequada ao nível das unidades difusoras (radiadores de aquecimento), tornando as várias unidades difusoras independentes entre si.

As válvulas termostáticas regulam automaticamente o fluxo de água quente com base na temperatura selecionada, sendo que a válvula se fecha de forma progressiva à medida que a temperatura do espaço se aproxima da temperatura selecionada, desviando a água quente para outra unidade difusora que ainda esteja aberta ou reduzindo o funcionamento da caldeira quando as necessidades dos espaços forem atingidas.

As válvulas termostáticas são de fácil instalação, permitindo obter poupanças de energia e, por conseguinte, aumentar o nível de conforto no edifício.

### **3.8 - Medidas de melhoria de desempenho energético ao nível das instalações elétricas**

Como se sabe, a energia elétrica tem um grande inconveniente em relação a outro tipo de energias, não permite o seu armazenamento em quantidades significativas, a qual se tem de produzir, transportar/distribuir no preciso momento da sua utilização. Associado a esse grande inconveniente, o custo dessa mesma energia constitui um dos fatores de maior peso dentro dos custos totais no setor dos edifícios.

Instalações elétricas eficientes, aliadas ao uso racional de energia, são contributos importantes para um bom desempenho energético de edifícios, permitindo alcançar uma redução significativa de consumos e de custos, uma diminuição das perdas, tornando as instalações mais eficientes.

De entre várias medidas de melhoria da eficiência energética em edifícios, destaca-se a correção do fator de potência e a inclusão de filtros ativos.

Finalmente, o sistema de medição/monitorização de energia é uma ferramenta essencial para qualquer ação de eficiência energética. São necessários para avaliar as necessidades de eficiência, para monitorizar e verificar desempenhos dos planos de ação e para implementar os planos de gestão, manutenção e comportamento.

#### **3.8.1 - Correção do fator de potência**

Todos os equipamentos elétricos necessitam de energia ativa para o seu funcionamento, sendo esta fornecida pelo Operador de Rede de Distribuição (ORD). Muitos desses equipamentos também necessitam de energia reativa, sob forma de energia elétrica que não produz trabalho, mas que é fundamental ao seu funcionamento.

Esta energia pode ser adquirida na totalidade ao ORD, que providenciará a sua distribuição. Esta opção implica, a partir de determinados valores, um encargo suplementar por parte do cliente.

Em alternativa, a energia reativa pode ser produzida nas instalações elétricas de utilização mediante a instalação de bateria de condensadores ou outro tipo de equipamentos baseados na eletrónica de potência. O investimento neste tipo de equipamentos é normalmente amortizado num curto período de tempo, devido à redução ou mesmo à eliminação dos encargos com a energia reativa. Para além disso, conduz a melhorias significativas nas condições de exploração das redes/instalações elétricas.

Relativamente à intervenção, realizada no âmbito do P3EUP, foram instaladas/redimensionadas baterias de condensadores, em alguns edifícios da UP, descritos no anexo 4.

### 3.8.2 - Filtros ativos

O uso de filtro ativo de potência, quer nas redes quer nas instalações elétricas de utilização, constitui hoje em dia umas das soluções mais sofisticadas, para a melhoria da qualidade de energia elétrica, eliminando a poluição harmónica e, por consequente, uma diminuição nos custos de energia.

O filtro ativo de potência do tipo paralelo tem como função compensar os harmónicos da intensidade de corrente nas cargas, podendo ainda compensar a potência reativa (corrigindo o fator de potência da instalação).

Permite ainda equilibrar as correntes nas três fases (eliminando a corrente no neutro, mesmo na presença dos harmónicos de 3ª ordem).

Como resultado da atuação do filtro ativo paralelo, a intensidade de corrente nas linhas torna-se sinusoidal e a sua amplitude diminui, reduzindo as perdas nos condutores e evitando distorções nas tensões de alimentação das cargas.

### 3.8.3 - Sistema de monitorização de energia

Os sistemas de medição constituem uma ferramenta essencial para qualquer ação de eficiência energética.

No âmbito desta medida foram instalados cerca de 1000 unidades de medição, pelos vários edifícios que constituem o complexo edificado da UP (anexo 5), medindo de forma desagregada os consumos nos diversos circuitos energéticos, água e de gás.

Esta informação será concentrada e posteriormente enviada para servidores alojados na reitoria da UP, onde se fará o processamento da informação de forma a ser utilizável para as diversas finalidades de monitorização, auditorias e verificação de poupanças energéticas, etc.

## 3.9 - Conclusões

Neste capítulo, fez-se uma abordagem, em traços gerais do plano de eficiência energética da UP, com vista à implementação de medidas de eficiência energética no âmbito do programa P3EUP.

De forma genérica, todas as medidas constantes no plano foram implementadas com sucesso e dentro dos prazos previstos.

Após a conclusão das medidas implementadas foi possível constatar um aumento do conforto térmico e de bem-estar dos seus ocupantes nos edifícios, bem como uma redução dos custos energéticos associados.

Através das medidas de melhoria da envolvente do edifício, das instalações térmicas e das instalações elétricas, foi possível prolongar a vida útil dos edifícios intervencionados, com retorno económico face ao investimento inicial.



# Capítulo 4

## Sistema solar térmico

### 4.1 - Introdução

A Energia Solar é a única fonte energética inesgotável, que podemos explorar sem prejudicar o nosso meio ambiente.

A Energia Solar Térmica é a melhor forma de reduzir os consumos energéticos de um edifício, na produção de águas quentes, sendo a mais amiga do meio ambiente, reduzindo substancialmente as emissões de GEE, travando desta forma as alterações climáticas.

A tecnologia Solar térmica pode ser utilizada para diversos fins, nomeadamente para a produção de águas quentes sanitárias (AQS), apoio a instalações de aquecimento central, e aquecimento de águas de piscinas.

### 4.2 - Revisão de conceitos relativos à Energia Solar

#### 4.2.1 - A Radiação Solar

O Sol emite uma radiação eletromagnética, sob a forma de ondas eletromagnéticas, que se decompõe por uma parte visível (47%) em luz solar, e por uma parte invisível ou radiação térmica, sendo os raios infravermelhos (46%), e os ultravioletas (7%).

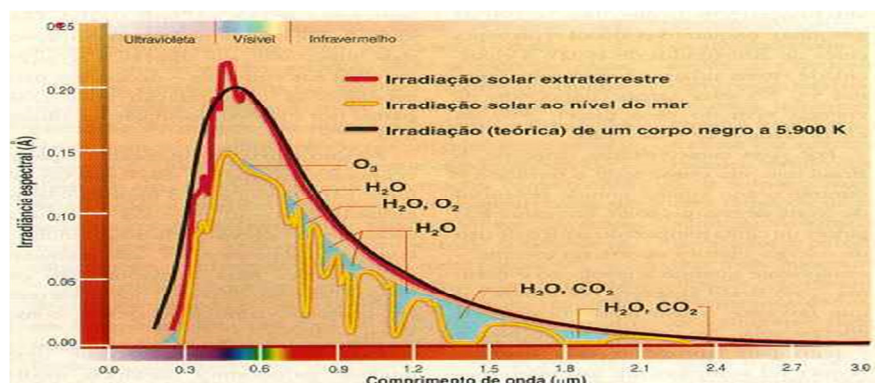


Figura 4.1 - Radiação Solar, [21].

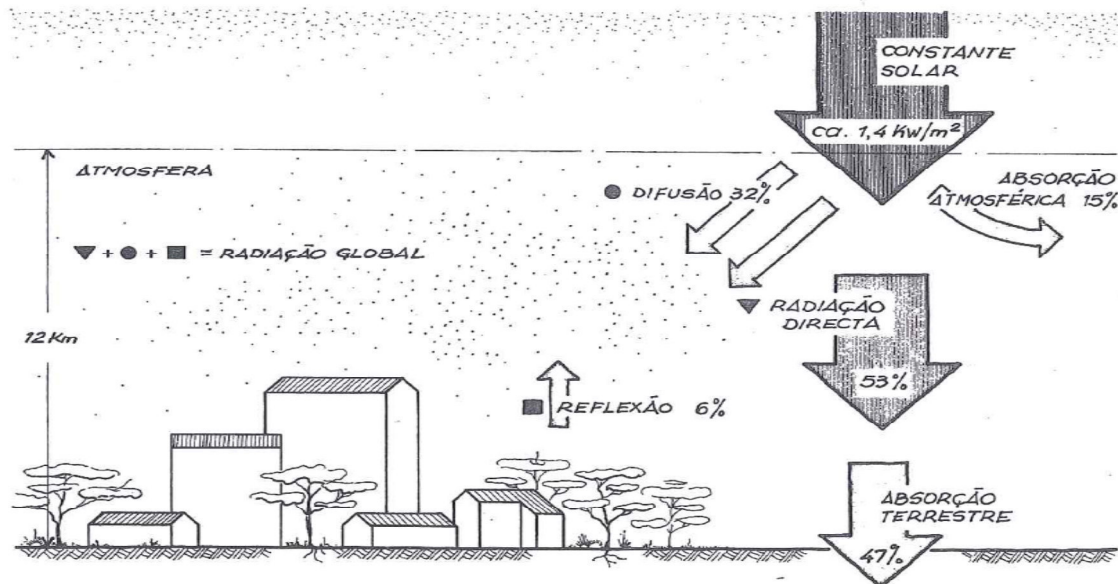
Define-se por constante solar, a energia recebida por unidade de tempo (hora) sobre uma unidade de superfície ( $m^2$ ), a nível da atmosférica extraterrestre, como:

$$1367W/m = 1.168kcal/h$$

#### 4.2.2 - A atmosfera terrestre e a radiação Solar

A atmosfera terrestre é constituída por uma massa gasosa com cerca de 12km de espessura e constitui o último percurso da radiação solar antes de atingir a superfície da Terra.

Ao atravessar a atmosfera, que é tanto mais densa quanto mais próximo da Terra, a energia dos raios solares sofre uma diminuição apreciável por unidade de superfície [22].

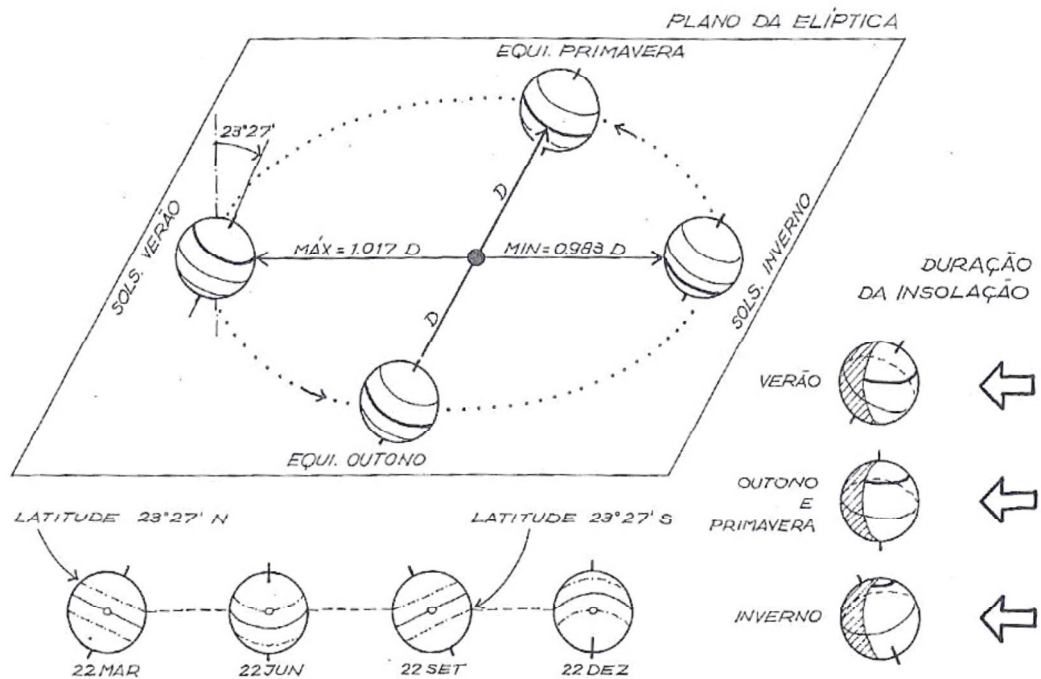


**Figura 4.2-** Representação esquemática da influência da atmosfera (em percentagem) nos fenómenos de absorção e difusão da radiação solar e da quantidade absorvida e refletiva pela superfície terrestre [22].

Da totalidade da radiação global solar que chega à atmosfera, 32% são reenviados para o espaço celeste por difusão, 15% são absorvidos pela própria atmosfera e 6% são refletidos pela superfície terrestre. Só 47% são absorvidos pela Terra, sendo esta a quantidade de energia média de que podemos dispor.

#### 4.2.3 - Movimento Terra-Sol

A terra roda em torno de um eixo imaginário que liga o Polo Norte ao Pólo Sul, chamado de eixo polar, descrevendo uma órbita elíptica em torno do Sol. Este eixo é quase perpendicular ao plano da elíptica formando um ângulo com a normal ao plano da órbita de  $23^{\circ} 27'$ . Ao fim de 24 horas dá uma volta completa sobre si mesmo, o que dá origem à sucessão dos dias e das noites.



**Figura 4.3** - Trajetória, distância e posições da Terra em volta do Sol, com as respectivas durações de insolação diárias nas quatro estações do ano [22].

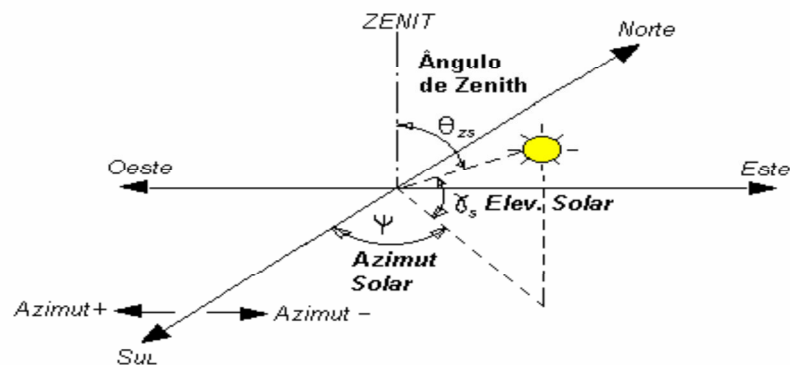
#### 4.2.4 - Declinação Solar

A declinação solar é a posição angular do Sol, ao meio dia solar, em relação ao plano do equador da Terra e o plano do equador do Sol.

Este ângulo varia com o dia do ano entre os limites  $\pm 23,27^{\circ}$  aproximadamente.

#### 4.2.5 - Posição Solar

Para se quantificar a energia solar disponível ao longo do dia, mês e ano é necessário localizar a posição do Sol no céu localização, essa, que pode ser definida por dois ângulos: o azimute e a altura do Sol.



**Figura 4.4** - Posição do Sol em relação às superfícies horizontais, [23].

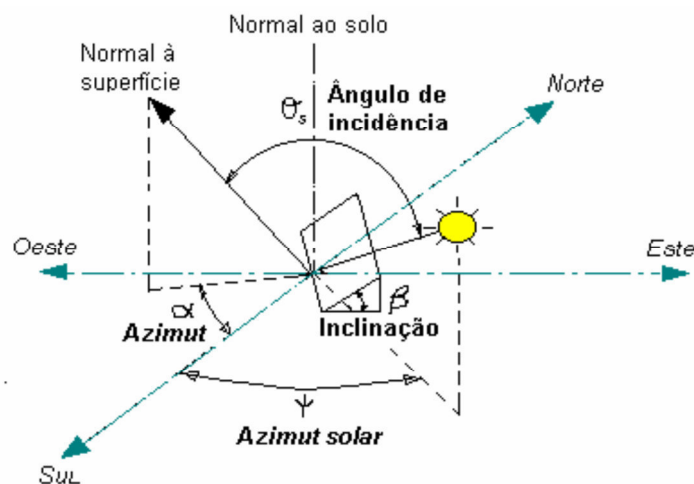


O ângulo de azimute ( $\psi$ ) é o ângulo formado entre a projeção horizontal dos raios solares e o eixo Norte-Sul.

A altura solar, corresponde ao ângulo de elevação solar ( $\gamma_s$ ) formado pelos raios solares com o plano horizontal, a partir de um determinado ponto de observação.

#### 4.2.6 - Incidência não normal da radiação solar sobre um coletor

Numa instalação solar térmico os coletores solares encontram-se instalados numa posição fixa, com uma certa inclinação, por forma a otimizar a energia recebida ao longo do ano ou numa determinada altura do ano. Uma vez que a normal dos coletores solares não possui a mesma direção que os raios de incidência solar, torna-se necessário definir o ângulo de incidência como ângulo entre os raios solares e a normal aos coletores [23].



**Figura 4.5** - Definição de ângulos de incidente da radiação solar sobre um coletor solar inclinado [24]

O ângulo de inclinação do coletor ( $\beta$ ) é formado entre o coletor e o plano ou superfície horizontal no ponto onde se encontra instalado. O valor deste ângulo varia entre  $0^\circ$  na superfície horizontal e os  $90^\circ$  na superfície vertical.

Os coletores são ainda caracterizados pelo seu ângulo de azimute ( $\alpha$ ), que corresponde ao ângulo formado entre a projeção horizontal da normal do coletor e o eixo Norte-Sul geográfico. O ângulo é positivo ou negativo consoante a posição relativa ao eixo Norte-Sul, sendo positivo a Oeste do eixo e negativo a Este do eixo. O seu valor varia entre  $-90^\circ$  e  $90^\circ$ .

Relativamente aos coletores solares instalados no hemisfério Norte a sua orientação geográfica ótima será a Sul, enquanto que para os coletores solares instalados no hemisfério Sul, a sua orientação geográfica ótima será a Norte.

#### 4.2.7 - Determinação de sombras

Com alguma frequência é necessário colocar os coletores solares em zonas onde pode haver influência de sombras. Nesses casos será conveniente conhecer as sombras que podem afetar a resposta energética dos coletores.

De forma a determinar qual a penalização que uma determinada sombra vai ter sobre um coletor solar usa-se uma ferramenta muito útil, o diagrama da trajetória solar ou as projeções estereográficas esféricas.

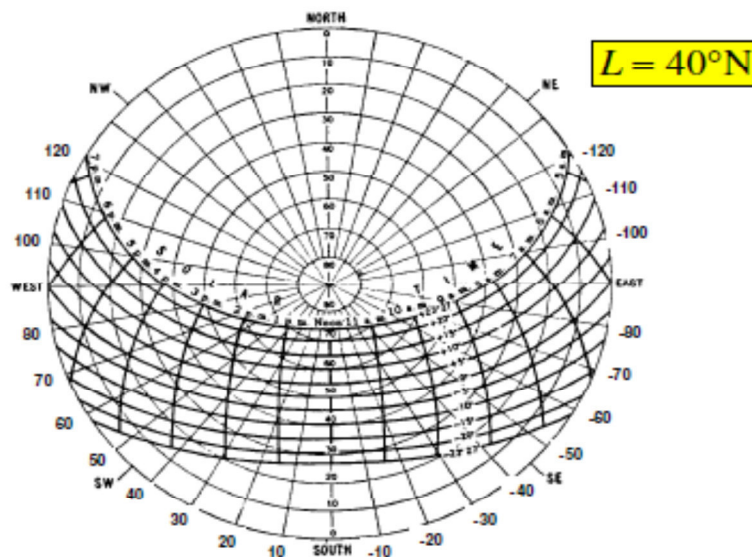


Figura 4.6 - Diagrama da trajetória solar para  $L=40^\circ$  [24].

No dia mais desfavorável do período de utilização escolhido os coletores solares não devem ter mais do que 30% da sua superfície útil de captação por sombras, durante mais de uma hora.

### 4.3 - Tipos de sistemas solares térmicos

Existem diversas configurações de instalações solares térmicas para produção de AQS. De uma forma resumida, e de acordo com o mecanismo responsável pelo movimento do fluido térmico do circuito primário dos coletores solares, pode-se diferenciar entre instalações de circulação natural ou instalações de circulação forçada.

#### 4.3.1 - Circulação natural

O sistema de circulação natural, denominado por termossifão, é aplicado a instalações de dimensões reduzidas, pois é limitativo em termos de capacidade de armazenamento de energia e de área de campo solar.

A radiação solar, ao incidir no coletor, irá aumentar a temperatura do fluido térmico, que percorre a tubagem do circuito primário, que, com o aumento da temperatura diminui a sua densidade, o que favorece o seu movimento, ou seja, a circulação faz-se por convecção natural, o fluido quente tem uma densidade inferior e sobe do coletor para o depósito acumulador, sendo que o fluido mais frio desce e entra novamente no coletor solar.

Quando o fluido térmico sobe e atinge o permutador do depósito acumulador transmite energia sob forma de calor, aquecendo a água que se encontra no seu interior. Quanto mais

radiação houver, maior será o caudal de fluido e, se não houver radiação ou a temperatura no coletor não for suficiente à do depósito acumulador, não haverá circulação e consequentemente não será aquecida a água no depósito acumulador, havendo por isso a necessidade de prever um sistema de apoio.

O processo é contínuo desde que exista uma diferença de temperatura entre o depósito acumulador e o coletor solar, suficiente para criar o movimento do fluido térmico.

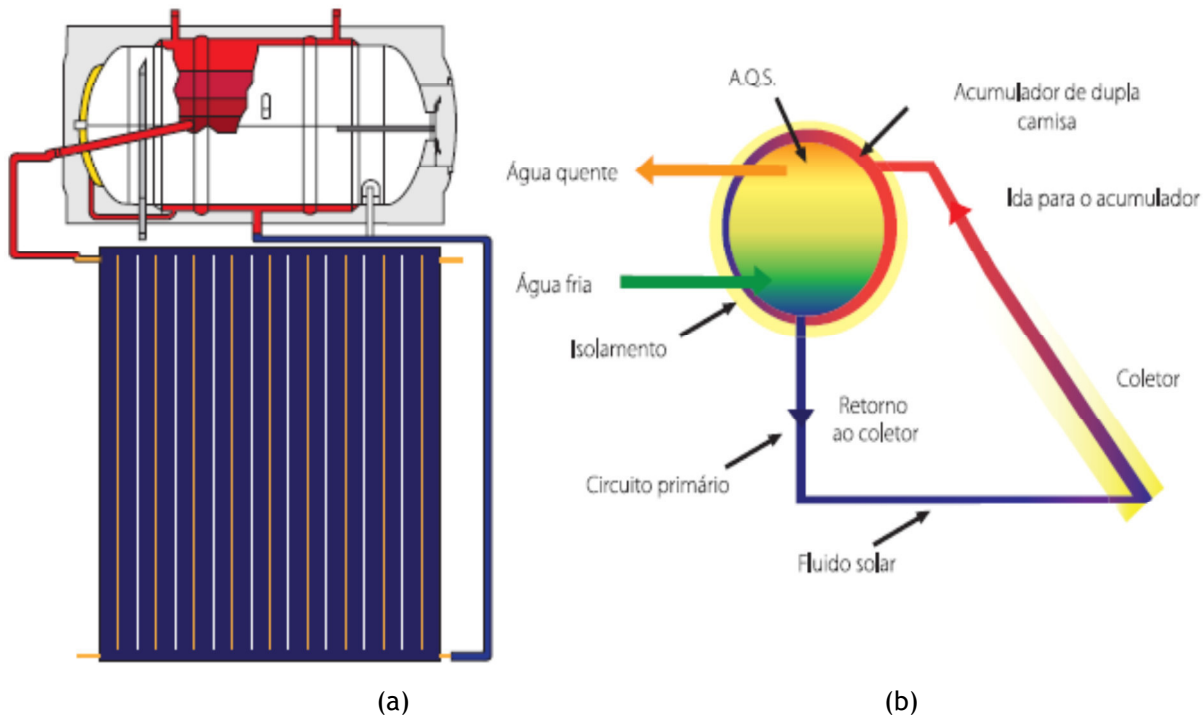


Figura 4.7 - (a) Esquema Solar térmico termossifão, (b) diagrama de funcionamento,[26].

#### 4.3.2 - Circulação Forçada

No caso de um sistema de circulação forçada, o movimento do fluido térmico efetua-se entre os coletores e o depósito acumulador, que é garantido por uma ou mais bombas circuladoras.

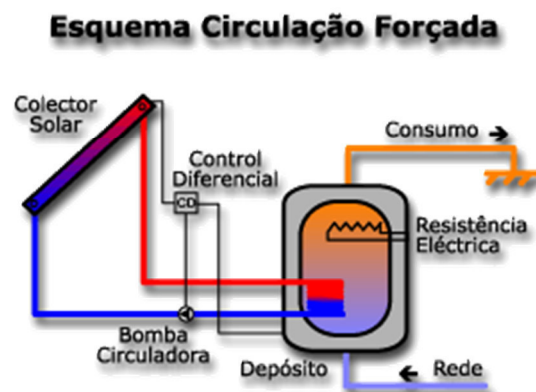


Figura 4.8 - Esquema solar térmico de circulação forçada, [27].

Uma instalação solar de circulação forçada, pelo fato de não ter os depósitos acumuladores de AQS, junto dos coletores solares, permite aquecer um maior volume de água e, por isso maior área de campo de coletores.

Neste tipo de instalação o depósito acumulador poderá ser instalado na central térmica, a uma distância significativa do campo de coletores solares, uma vez que por meio de regulação eletrônica é possível efetuar o controlo diferencial do funcionamento das bombas circuladoras.

Assim, quando existir uma diferença de temperatura entre o fluido térmico nos coletores e a parte inferior do depósito acumulador, o controlador irá transmitir ordem de alimentação à bomba que, por sua vez, movimentará o fluido térmico aquecido para dentro do depósito acumulador, transmitindo o calor do interior do permutador para a água de consumo que se encontra dentro do depósito do acumulador.

## 4.4 - Principais elementos de um sistema solar térmico

Uma instalação solar térmica é constituída por um conjunto de equipamentos/acessórios, capazes de captar toda a radiação solar incidente, transformando-a diretamente em energia térmica, e transferindo-a a um fluido térmico de trabalho e, por último, armazená-la de forma eficiente para se poder utilizar *a posteriori* nos pontos de consumo.

### 4.4.1 - Coletores Solares

O coletor solar é considerado o principal elemento de qualquer sistema solar térmico. Conforme a representação esquemática da figura 4.9, e de uma forma simples, o coletor solar plano é constituído por uma superfície absorvedora exposta pela radiação solar. A energia solar absorvida pela placa absorvedora é transferida para o fluido térmico, que circula numa serpentina de tubos finos soldados por ultra-sons à placa absorvedora.

O isolamento térmico da face exposta do coletor é efetuado colocando entre a placa absorvedora e o ambiente um material que seja simultaneamente opaco à radiação térmica e transparente à radiação solar, devendo possuir uma elevada transmissividade e, consequentemente, uma baixa refletividade, sendo que esse material poderá ser vidro tratado ou outro material sintético com as características referidas anteriormente.

A cobertura de vidro absorve a radiação térmica emitida pelas duas faces da placa absorvedora de cada canal da serpentina, sendo que a radiação solar é perdida para o ambiente exterior, aumentando assim a temperatura no seu interior, dando origem ao chamado “efeito de estufa” no interior do coletor.

A cobertura de vidro têm como função limitar as perdas da placa absorvedora pelo efeito de convecção, sabendo-se que a transferência de calor entre duas placas separadas por uma fina camada de ar imóvel se dá essencial por condução e que o ar em repouso é um bom isolante [21].

Para reduzir as perdas térmicas pela face posterior e pelos lados da placa absorvedora, utiliza-se um isolante (normalmente lã de rocha) que reveste interiormente as paredes do coletor.

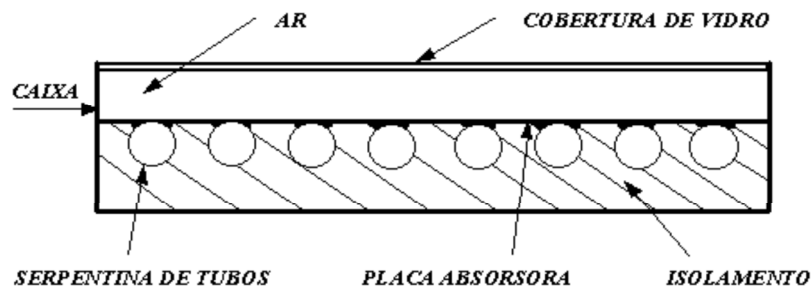


Figura 4.9 - Representação esquemática de um coletor solar térmico [21].

Por fim, a caixa que tem como principal objetivo proteger (do vento, da chuva, da poeira, etc.) e suportar os diversos elementos do coletor e, ao mesmo tempo, permitir a união com a estrutura através dos elementos de fixação necessários. Esta deve ser estanque às entradas de ar e água e resistente à corrosão.

Existem diversos tipos de coletores, sendo os mais utilizados para a produção de AQS os coletores planos, por geralmente apresentarem a melhor relação custo/desempenho.

#### 4.4.2 - Circuitos hidráulicos da instalação solar

A energia térmica captada pelos coletores solares é transportada até ao depósito de acumulação ou permutador de calor externo (dependente do tipo de configuração da instalação), através do circuito hidráulico primário. Este é constituído por tubagens e o respetivo isolamento térmico e mecânico, grupo de bombagem, equipamentos de controlo/instrumentação e pelos mais diversos acessórios hidráulicos, preparados para operarem corretamente na gama de temperaturas máximas a que o circuito hidráulico ficará sujeito e permitir uma ligação física em circuito fechado, desde os coletores solares até ao depósito acumulação ou permutador de calor externo, que por vezes estão instalados com desníveis e distância significativas.

Vulgarmente existem dois tipos de configurações possíveis para o circuito hidráulico primário, sendo que na primeira configuração, o circuito hidráulico primário desenvolve-se entre o campo de coletores solares e o depósito de acumulação, em que a transferência de calor se efetua através do permutador de calor interno do tipo serpentina ou nalguns casos do tipo de camisa, instalado no interior do depósito acumulador.

Na segunda configuração é instalado um permutador de calor externo (geralmente de placas) no circuito hidráulico primário, que para além da transferência de calor, garante a separação de dois circuitos hidráulicos independentes. Esta separação hidráulica dá origem a dois circuitos fechados denominados circuito primário e circuito secundário, permitindo que somente no circuito primário seja necessário utilizar fluido térmico (anti-congelante), por ficar no exterior do edifício, logo sujeito a temperaturas mais baixas. No circuito secundário, por ficar no interior do edifício, sem risco de congelação, pode-se utilizar somente água de consumo como fluido térmico.

Esta separação permite ainda a utilização de caudais diferenciados entre o circuito primário e secundário.

#### 4.4.3 - Grupo de bombagem

O grupo de bombagem permite o funcionamento equilibrado de uma instalação solar e incorpora os seguintes componentes ou acessórios: termómetros integrados (ida e retorno), grupo de segurança composto por válvulas de segurança e manómetro, válvulas de retenção na impulsão e no retorno para evitar a circulação por termossifão desde o depósito acumulador aos coletores (durante a noite), bomba circuladora para impulsão do fluido térmico, limitador de caudal, regulador de caudal e caudalímetro, válvulas de corte e válvulas destinadas ao enchimento e descarga do fluido térmico na instalação.

#### 4.4.4 - Permutadores de calor

Em todas as instalações solares térmicas, com a exceção das piscinas com aquecimento ao ar livre, é necessário garantir a existência um permutador de calor de modo a promover a transferência de calor entre duas correntes de fluidos, garantindo a separação dos dois circuitos hidráulicos independentes do sistema solar térmico. Esta separação hidráulica dá origem a dois circuitos fechados, denominados circuito primário e circuito secundário como referido anteriormente.

Os permutadores de calor podem ser do tipo interno ou externos. Os internos podem ser de serpentina ou de camisa e estão incorporados no interior dos depósitos acumuladores.

Para instalações com acumulação de água a partir dos 2,5m<sup>3</sup>, recomenda-se a utilização de permutador externo, geralmente formado por placas, devendo trabalhar em regime de fluxos opostos. Este deverá ser instalado no circuito primário no exterior dos acumuladores.

#### 4.4.5 - Acumuladores

Em instalações solares térmicas, a radiação solar devido ao seu carácter descontínuo, não consegue satisfazer na globalidade, as necessidades de consumo. Logo, existe a necessidade de armazenar toda a energia captada, que se traduz na elevação da temperatura da água armazenada, em depósitos acumuladores apropriados para o efeito.

Para garantir um bom comportamento térmico do sistema solar, o armazenamento deverá verificar duas condições essenciais, perdas térmicas baixas e elevada estratificação.

Para grandes infraestruturas que exigem uma elevada produção de AQS e integração do aquecimento de águas para utilização em piscina ou outras utilizações, a utilização de um acumulador de inércia garante uma exploração mais eficiente da instalação.

#### 4.4.6 - Sistemas de Apoio

Embora o armazenamento de energia térmica no sistema solar térmico seja concebido para fazer face ao carácter descontínuo da radiação solar incidente, será ainda necessário recorrer a um sistema de apoio com energia do tipo convencional, por forma a permitir satisfazer na totalidade as necessidades de consumo.

O apoio pode ser instalado em série ou em paralelo com o depósito acumulador relativamente ao circuito secundário, o do consumo.

O apoio em série funciona durante o período de consumo, ou em contínuo, e destina-se a corrigir a temperatura da água aquecida por via solar, de modo a que atinja a temperatura de consumo pretendida. Este tipo de apoio, é tipicamente elétrico. Pode ser incorporado no depósito solar ou incorporado num depósito distinto que se encontra em série com depósito solar relativamente ao circuito de consumo.

O apoio em paralelo é tipicamente um apoio a gás (caldeira/esquentador) ou a lenha (caldeira).

Este deverá inclusive possuir capacidade suficiente para, em caso do sistema solar não estar a funcionar por manutenção ou avaria, produzir a quantidade de AQS suficiente à satisfação das necessidades do edifício.

#### 4.4.7 - Vaso de Expansão

Os vasos de expansão, representado na figura 4.10, têm como finalidade absorver o fluido térmico sempre, que a sua dilatação atinja valores superiores às condições normais de funcionamento. As situações mais extremas verificam-se, quando ocorre a vaporização do fluido térmico nos coletores solares, devida à elevada radiação solar incidente, durante períodos extensos de tempo. Os vasos de expansão possibilitam também a acumulação de alguma reserva de fluido térmico. Este fluido é introduzido no circuito primário sempre, que houver libertação de fluido térmico pelas válvulas de segurança.

Este deve ser dimensionado para o volume, pressão e temperatura máxima esperada no circuito primário.

A ligação dos vasos de expansão, instalados no grupo de bombagem do circuito primário, é em material compatível com o material da tubagem, normalmente em cobre.

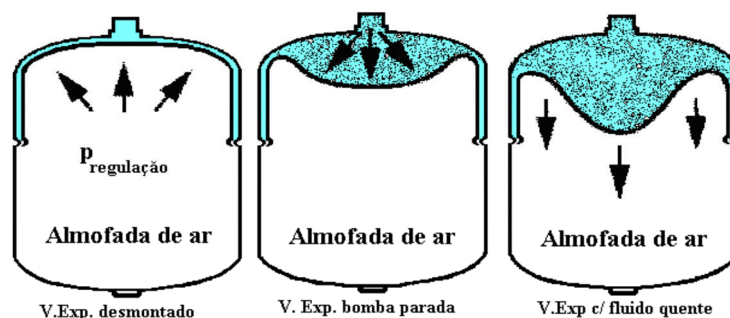


Figura 4.10 - Representação esquemática de um vaso de expansão [25].

#### 4.4.8 - Dissipador calor

O dissipador de calor é um elemento essencial, para garantir a segurança, de instalações solares térmicas, de média e grandes dimensões.

Este deve ser projetado e instalado, sempre que se preveja a possibilidade da instalação sofrer períodos de reduzido consumo, em situações de sobreaquecimento da instalação, nomeadamente no verão, em que a radiação solar incidente é maior.

O dissipador deve dissipar toda a energia em excesso contida no fluido térmico, entrando em funcionamento, quando a temperatura nos coletores solares atingir um máximo definido no sistema de controlo e instrumentação, desviando esse mesmo fluido térmico para o circuito de dissipação, por forma a dissipar a energia em excesso, fazendo-o retomar de novo aos coletores mais frio, evitando deste modo o sobreaquecimento da instalação, eventual perda de fluido térmico, fadiga dos equipamentos por stress mecânico-térmico, diminuindo assim os custos de manutenção.

#### 4.4.9 - Controlo e instrumentação

Numa instalação de solar térmico de circulação forçada, o sistema de controlo diferencial e de instrumentação é formado por dispositivos cuja finalidade é automatizar o sistema por forma a otimizar o seu rendimento em termo de ganhos térmicos. Estes dispositivos são responsáveis pela monitorização das temperaturas nos coletores solares e no acumulador, ligar e desligar a bomba circuladora do circuito primário do sistema de energia solar, sempre que a diferença de temperatura ajustada entre o campo de coletores e o acumulador solar seja ultrapassada.

#### 4.4.10 - Tubagens

Os traçados e diâmetros das tubagens devem ser devidamente dimensionados, de forma a permitir velocidades de circulação dos fluidos e perdas de carga adequados ao correto funcionamento da instalação.

Os materiais mais frequentemente utilizados, em instalações solares térmicas são o cobre, aço inox, aço galvanizado, aço negro e os materiais plásticos. Para o transporte de calor em tubagens entre o coletor solares e o depósito de armazenamento.

O cobre é o material mais utilizado, por ser tecnicamente adequado e economicamente competitivo. O cobre resiste à corrosão, tanto dos líquidos que circulam no seu interior como dos agentes exteriores, a sua maleabilidade e ductilidade permitem uma cómoda manipulação e uma grande facilidade para realizar traçados complicados.

Muitos tipos de acessórios feitos de cobre, bronze vermelho ou latão estão disponíveis para ligações Cu/Cu e transição para outros sistemas de componentes com conexões roscadas.

Relativamente aos tubos de aço inox a sua utilização tem sido crescente nos últimos anos, devido à sua boa resistência à corrosão, facilidade de corte e gama completa de acessórios para montagem rápida.

#### 4.4.11 - Ligações hidráulicas dos coletores solares

Nos sistemas de circulação forçada, para garantir um equilíbrio hidráulico na instalação (uma distribuição uniforme do caudal), é conveniente que todas as filas de coletores tenham o mesmo número de coletores, assegurando perdas de cargas iguais em todas as filas de modo a minimizar a potência de bombagem necessária no circuito primário da instalação [25].



Os coletores solares podem ser ligados em série, paralelo, paralelo de canais ou numa combinação de baterias em série/paralelo. A configuração ótima depende da geometria da área de superfície captadora disponível, bem como das características hidráulicas dos coletores solares.

A ligação hidráulica de coletores em série, de acordo com a figura 4.11, traduz-se num aumento da temperatura nos coletores solares ligado a jusante, isto é o fluido térmico que entra no primeiro coletor, recebe todo o calor transmitido, passando para o segundo com uma temperatura mais acentuada e assim sucessivamente, com consequência de quebras do desempenho térmico.



Figura 4.11 - Ligação hidráulica em série de coletores solares [25].

Nas ligações em paralelo, o caudal não varia entre cada coletor, cada elemento de fluido térmico atravessa apenas um coletor solar, estando todos os coletores a funcionarem nas mesmas condições (em equilíbrio hidráulico) evitando as desvantagens da ligação em série.

As ligações em paralelo, pode ser efetuadas com alimentação em retorno invertido de acordo com a figura 4.12.

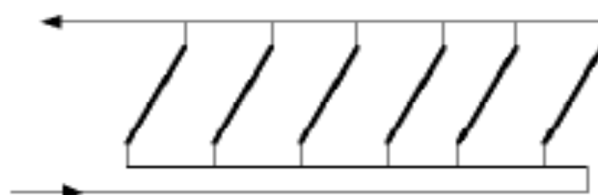


Figura 4.12 - Ligação hidráulica em paralelo com alimentação em retorno invertido, de coletores solares [25].

Uma outra variante da ligação em paralelo, poderá ser feita em paralelo de canais, com a vantagem de necessitar de menor comprimento de tubagens. Este tipo de ligação tem a possibilidade de obter um rendimento superior relativamente à ligação em série.

Como podemos verificar na figura 4.13, cada coletor solar, recebe o fluido térmico à mesma temperatura e transmite o calor proveniente da radiação solar para o mesmo.

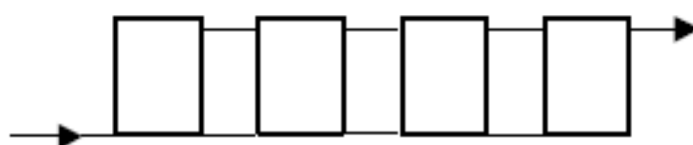


Figura 4.13 - Ligação hidráulica em paralelo de canais, de coletores solares [25].

De seguida apresenta-se um exemplo de uma instalação de 24 coletores solares associados em quatro linhas. Cada uma consta de seis painéis distribuídos em dois grupos (ligados em série) com três coletores em paralelo de canais. Na saída de cada grupo de três coletores

deve-se instalar-se um purgador. A alimentação cumpre o princípio da alimentação invertida para minimizar as perdas de calor e garantir o equilíbrio hidráulico.

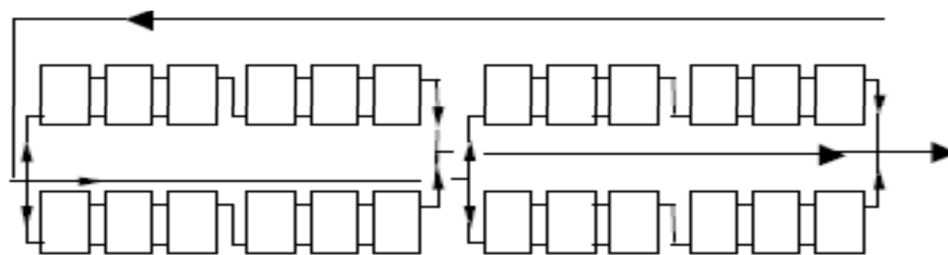


Figura 4.14 - Ligação hidráulica de vinte e quatro coletores solares, com combinação de ligações serie-paralelo de canais [25].

## 4.5 - Caso de estudo, instalação solar térmica

### 4.5.1 - Introdução

O presente caso de estudo centra-se na instalação de um sistema solar térmico centralizado, realizado no âmbito do programa P3EUP, que tinha como objetivo a reabilitação energética do edifício (com múltiplos apartamentos) da Residência Universitária do Campo Alegre I (RUCA I), dos Serviços de Ação Social da UP (SASUP).

### 4.5.2 - Descrição e localização do edifício

O edifício da Residência Universitária do Campo Alegre I situa-se na Rua do Campo Alegre, nº 1395, junto ao Jardim Botânico e próximo da Faculdade de Ciências da UP. Projetado pelo Arq. Noé Diniz, é uma construção que data de 1989 a 1993, com início de funcionamento em 1995. A RUCA I destina-se ao alojamento dos estudantes da UP, dispondo de 156 camas distribuídas por 13 apartamentos de 11 quartos individuais e um de 13, todos com instalações sanitárias comum, cozinha e sala. O vasto jardim e a ampla sala de arquitetura são algumas das características desta infraestrutura.



Figura 4.15 - Vista aérea do edifício RUCA I.

O edifício RUCAI está localizado bem perto da via de cintura interna do Porto (VCI), desenvolvendo-se sob a forma de U, com uma orientação predominantemente norte/sul e com cobertura plana sem sombreamento na envolvente. Localização GPS: 41.154303, -8644223.

A cobertura do edifício do lado da VCI permite não só a instalação dos coletores solares, com uma aproximação aos 0° de azimuth relativamente à direção sul geográfico, como a instalação da estrutura de fixação dos coletores com um ângulo de inclinação otimizado, tornando assim praticamente ótima a captação da irradiação solar. A opção da localização dos coletores solares na cobertura tem presente a minimização dos cumprimentos de tubagem do circuito hidráulico primário até à central térmica, com vista à minimização das perdas de carga térmica na tubagem.

#### 4.5.3 - Caracterização do recurso solar

A localização, bem como a orientação do edifício RUCA I, faz prever uma excelente disponibilidade da radiação solar que pode ser aproveitada pela central térmica solar.

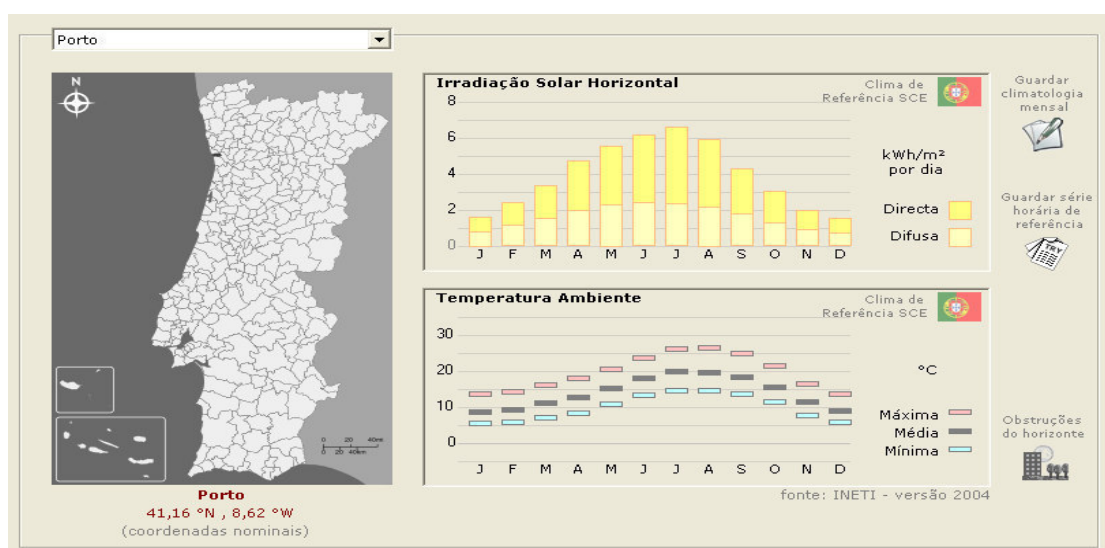


Figura 4.16 - Caracterização do recurso solar na região do Porto.

Baseado, na caracterização do recurso solar, a partir do *software* Solterm INETI, verifica-se que estão reunidas as condições necessárias para a obtenção de uma boa eficiência de um sistema solar térmico no local em estudo, região do Porto.

#### 4.5.4 - Dimensionamento das necessidades

Para efeitos regulamentares do RCCTE, as necessidades anuais de energia útil para a preparação de AQS,  $N_{ac}$ , são calculadas através da expressão:

$$N_{ac} = \frac{Q_a - E_{solar} - E_{ren}}{A_p} \left[ \frac{kWh}{m^2} \cdot ano \right] \quad (1)$$

O n.º 2 do anexo VI do RCCTE define o método de cálculo da energia despendida com sistemas convencionais na preparação de AQS durante um ano:

$$Q_a = \frac{M_{AQS} \times 4187 \times \Delta T \times \eta_d}{3600000} \text{ [kWh/ano]} \quad (2)$$

Sendo que o consumo médio de referência  $M_{AQS}$  é dado pela expressão anterior, de acordo com o n.º 2.1 do anexo IV do regulamento.

$$M_{AQS} = 40 \text{ litros} \times \text{número de ocupantes} \quad (3)$$

O aumento de temperatura ( $\Delta T$ ) necessário à preparação de AQS toma o valor de referência de 45°C. Este valor resulta da diferença entre a temperatura média anual de entrada da rede a 15°C e a que se pretende obter, no depósito acumulador, a 60°.

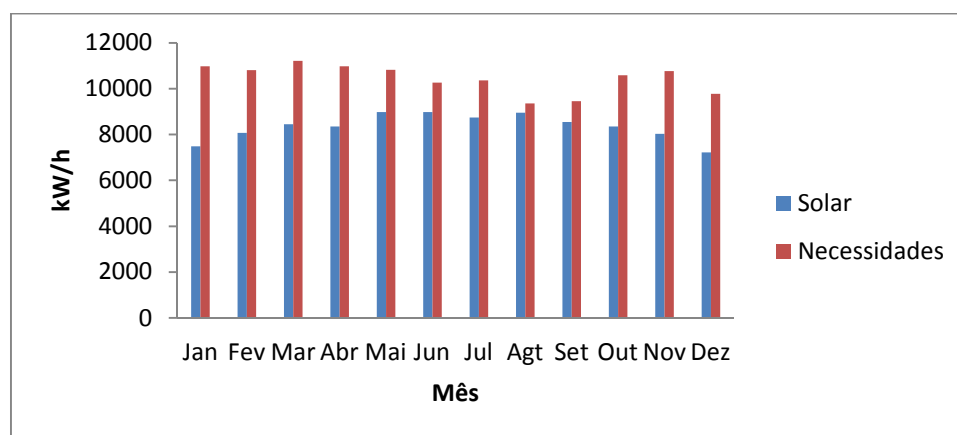


Figura 4.17- Representação gráfica do mensal da energia Solar fornecida VS necessidades

O desempenho do sistema solar térmico, fornece 100126,0kWh de energia, a uma carga de 125324kWh, sendo a fração solar calculada para a carga aproximadamente de 78%.

Finalmente, a área de captação pode ser determinada pela expressão:

$$A = \frac{Q_a}{n^{\circ} \text{ horas de Sol} \times 3600 \times I_g} \text{ [m}^2\text{]} \quad (4)$$

A área bruta necessária para a instalação dos coletores solares, será de cerca 90m<sup>2</sup>.

#### 4.5.5 - Perfil de consumos

Na figura 4.18, apresenta-se o perfil de consumo diário estimado de AQS, para o edifício RUCA I, com base na taxa de ocupação do edifício.

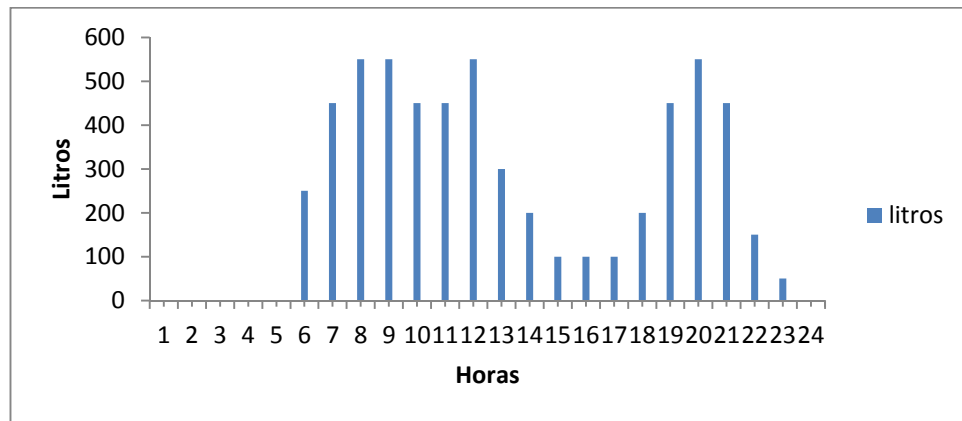


Figura 4.18 - Perfil de consumos de AQS médio diário.

#### 4.5.6 - Viabilidade económica da instalação solar

A obtenção de economias de energia consideráveis requer um investimento que pode ser elevado, por isso é importante realizar uma análise de rentabilidade económica da instalação solar que facilite a tomada de decisões.

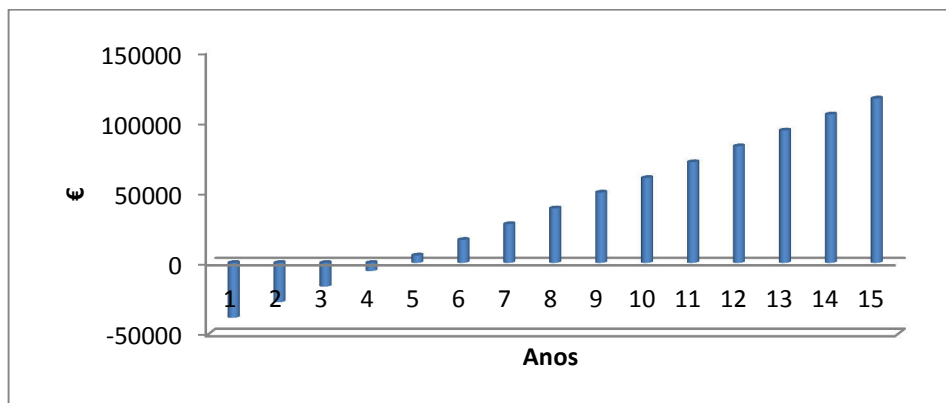


Figura 4.19 - Amortização em euros, da instalação solar térmica.

O gráfico da figura 4.19 foi desenvolvido tomando as seguintes considerações:

• Vida útil da instalação solar térmica (anos)	15
• Custo de investimento inicial (€)	49.750,00
• Produção energia/sistema (kWh/ano)	100.126,00
• Evolução tarifa cliente, gás propano granel (€/kW)	0,11
• Taxa de inflação ano, tarifa cliente (%)	1
• VAL - Valor Atual Liquido (€)	117.007,00
• TIR - Taxa Interna de Rentabilidade (%)	20,9
• Retorno do investimento (anos)	5

Com base nos valores descritos anteriormente, teremos um período de retorno de 5 anos, pelo que considerando uma vida útil do sistema solar de 15 anos, o investimento na instalação solar térmica é viável.

#### 4.5.1 - Descrição do funcionamento da instalação solar térmico

O sistema solar térmico tem como objetivo a produção e fornecimento de forma centralizada de AQS, captando a energia proveniente da radiação solar e acumulando essa energia em depósitos acumuladores na central térmica, para alimentação de rede predial de distribuição de AQS do edifício.

Desta forma, assegura-se uma economia na utilização do sistema convencional de apoio, que fica reservado para complemento de energia na preparação de AQS, quando a radiação solar disponível não for suficiente no âmbito da regulamentação térmica em vigor.

A captação de energia solar será realizada por intermédio de uma ou várias baterias de coletores solares planos instalados na cobertura do edifício RUCAL, conforme assinalado na figura 4.15, visto ter uma exposição solar adequada. A energia será transferida para o fluido térmico, que deverá conter as proporções de água e sua dureza e os inibidores de corrosão adequados, e anticongelante (glicol) de acordo com as temperaturas mínimas registadas no local onde serão instalados, de modo a proteger convenientemente a instalação hidráulica.

Cada bateria de coletores deverá incorporar os necessários acessórios hidráulicos (purgador automático, válvula de segurança e regulador de caudal), de modo a garantir o equilíbrio hidráulico do campo de coletores, assegurando um rendimento adequado e protegendo a instalação.

O circuito primário onde circula o fluido térmico que transporta a energia será realizado em circuito fechado, com retorno à bateria de coletores solares. Deverão ser contemplados os correspondentes grupos de circulação e de segurança (incluindo os termómetros/válvula de esfera, válvula de segurança até 6 bar, bombas de circulação de velocidade variável, válvulas anti-retorno, caudalímetro com regulação de caudal, uma válvula de corte de enchimento e outra para esgoto e os respetivos vasos de expansão), assegurando assim o bom funcionamento da instalação.

A tubagem, isolamento térmico, e acessórios hidráulicos deverão estar preparados para funcionar corretamente no campo de temperaturas máximas a que o circuito hidráulico estará sujeito.

O controlo deverá fazer uma medição diferencial dos pontos de maior e menor temperatura do circuito hidráulico primário, atuando a bomba de circulação somente quando a energia solar disponível assim o justifique. Deverá, também, variar o caudal em circulação no circuito em função das condições de radiação solar existente, otimizando o rendimento da instalação. Deverá ser previsto um sistema eletrónico de segurança, de modo a minimizar os efeitos prejudiciais de condições meteorológicas extremas de congelação da instalação no exterior do edifício.

Uma vez que o sistema é de média dimensão prevê-se, a instalação dum circuito de segurança, fazendo um by-pass na saída da bateria de coletores até ao dissipador de calor. Para o efeito será necessário a atuação de uma válvula desviadora, a qual desvia o fluido térmico solar quando a sua temperatura atinge o máximo definindo, encaminhando-o para um sistema de dissipação de calor, fazendo-o retornar à bateria de coletores mais frio. Deste modo evitam-se as situações de sobreaquecimento da instalação, nomeadamente no Verão, em que a radiação solar incidente é maior e os consumos podem ser inferiores aos pressupostos. Evitando o sobreaquecimento, evita-se também as altas pressões decorrentes e

a ebulição e separação da água e glicol prejudiciais à instalação, evitando assim intervenções de reparação desnecessárias e os custos associados.

A tubagem do circuito hidráulico deverá garantir o transporte da energia solar térmica de forma eficiente. Para tal será necessário assegurar velocidades de circulação e perdas de carga adequadas, bem como o dimensionamento dos vasos de expansão de forma a proteger a instalação das dilatações decorrentes do aquecimento do fluido solar, evitando que as válvulas de segurança atuem frequentemente, o que originaria frequentes intervenções de reparação indesejadas.

Para uma perda de carga reduzida na tubagem do circuito solar é aconselhado um diâmetro de tubagem que permita obter uma velocidade de escoamento entre 0,5m/s e 1m/s.

O Vaso de expansão deverá ser um 150litros, por forma a apresentar capacidade para absorver a dilatação do líquido solar, evitando a atuação da válvula de segurança e consequente perda do mesmo.

A acumulação de AQS é feita, conforme já referido, através de dois depósito de acumulação de AQS solar que recebe a água fria da rede e realiza o pré-aquecimento com recurso em exclusivo à energia solar.

Para o funcionamento deste sistema solar é necessário prever um volume de acumulação que, face ao consumo diário estimado de AQS, otimiza o rendimento da instalação solar, reduzindo o consumo da energia de apoio. Para tal será necessário a utilização de dois acumuladores cilíndricos verticais, de inercia, com revestimento exterior. O acumulador previsto deverá ter capacidade de acumulação de 2000litros, resultando num volume total de acumulação de 4000litros.

Relativamente ao controlo e gestão da instalação solar, deverá ser previsto uma central de controlo solar, de modo a gerir o grupo de circulação em função da medição diferencial dos pontos de maior e menor temperatura do circuito solar. Esta inclui um visor com a informação das várias temperaturas do circuito primário, o estado de funcionamento da instalação e a otimização do rendimento da mesma por variação da velocidade de circulação de acordo com as condições de radiação existentes. Deve ser previsto também a atuação da válvula desviadora para o circuito de dissipação de calor quando for atingida a temperatura máxima programada de segurança.

A instalação solar térmica terá como sistema de apoio convencional, uma caldeira a gás propano, existente, bem como os seus acessórios hidráulicos e acessórios de gestão de controlo que permitem a definição completa da central térmica.

## **4.6 - Plano de manutenção dos sistemas solares térmicos**

O plano de manutenção preventivo, implicará como mínimo uma revisão anual da instalação com uma superfície de captação inferior a 20m<sup>2</sup> e uma revisão cada seis meses para instalações com uma superfície de captação superior a 20m<sup>2</sup>. Será realizada por pessoal técnico especializado e deve incluir as operações de manutenção e substituição de elementos degradados pelo uso. A instalação deve dispor de um caderno de manutenção em que se reflita sobre todas as operações realizadas, assim como manutenção corretiva proveniente de anomalias inesperadas.

## 4.7 - Conclusão

Neste capítulo, fez-se uma apresentação, em traços gerais do sistema solar térmico, aplicado aos edifícios, uma das medidas de melhoria de eficiência energética implementada no âmbito do programa P3EUP.

Foram abordados ainda os principais conceitos Solares, bem como o tipo e os principais elementos de um sistema solar térmico.

Relativamente ao caso de estudo em questão, a implementação desta medida, reveste-se de especial importância, na medida em que apresenta um retorno económico significativo, face ao investimento inicial mais custos de exploração.





# Capítulo 5

## Correção do fator de potência

### 5.1 - Introdução

A utilização racional de energia é um tema frequentemente debatido entre os diversos agentes envolvidos, no que diz respeito ao funcionamento do sistema elétrico de energia e aos impactos ambientais.

Deste modo, a questão fundamental na utilização de energia elétrica baseia-se numa melhoria da eficiência das redes/instalações elétricas e, por consequência, num consumo correto da energia elétrica, de modo a obter a máxima rentabilidade, desde a produção, passando pelas redes de transporte/distribuição até às instalações de utilização dos edifícios, de acordo com os objetivos definidos no Plano Nacional para as Alterações Climáticas (PNAC).

### 5.2 - Revisão de conceitos

Para o cálculo das potências elétricas, consideremos um circuito elétrico, em que as expressões dos valores instantâneos da tensão e da intensidade de corrente elétrica são as seguintes:

$$u = \sqrt{2} U \cos(\omega t - \alpha) \rightarrow \bar{U} = U e^{j\alpha} \quad (5)$$

$$i = \sqrt{2} I \cos(\omega t - \beta) \rightarrow \bar{I} = I e^{j\beta} \quad (6)$$

e seja,

$$\varphi = \alpha - \beta \quad (7)$$

Considerando o conjugado  $\bar{I}^* = I e^{-j\beta}$ , a potência aparente complexa  $\bar{S}$ , é calculada por:

$$\bar{S} = \bar{U} \bar{I}^* = U e^{j\alpha} \times I e^{-j\beta} = UI e^{j(\alpha-\beta)} \quad (8)$$

$$= UI \cos(\alpha - \beta) + j UI \sin(\alpha - \beta) \quad (9)$$

$$= S \cos(\varphi) + j S \sin(\varphi) \quad (10)$$

$$\bar{S} = P + jQ \quad (11)$$

obtemos, assim, pelo método simbólico para o estudo de circuitos elétricos alimentados, por tensões sinusoidais, a potência elétrica, como sendo a soma de uma parte real (potência ativa) com uma parte imaginária (que é a potência reativa).

O ângulo  $\varphi$ , designado por ângulo de fator de potência, sendo o coseno deste ângulo referido como fator de potência,  $FP = \cos\varphi$ .

$$P = U \times I \times \cos\varphi \quad (12)$$

$$Q = U \times I \times \sin\varphi \quad (13)$$

Para o estudo da compensação do fator de potência, consideremos o diagrama de funcionamento de um circuito elétrico de impedância  $\bar{Z} = R + jX_L$  (que supomos indutiva, isto é, a respetiva intensidade de corrente que circula no circuito encontra-se desfasada relativamente à tensão sinusoidal aplicada), e seja  $C$ , a capacidade de um condensador em paralelo com a impedância  $\bar{Z}$  [28].

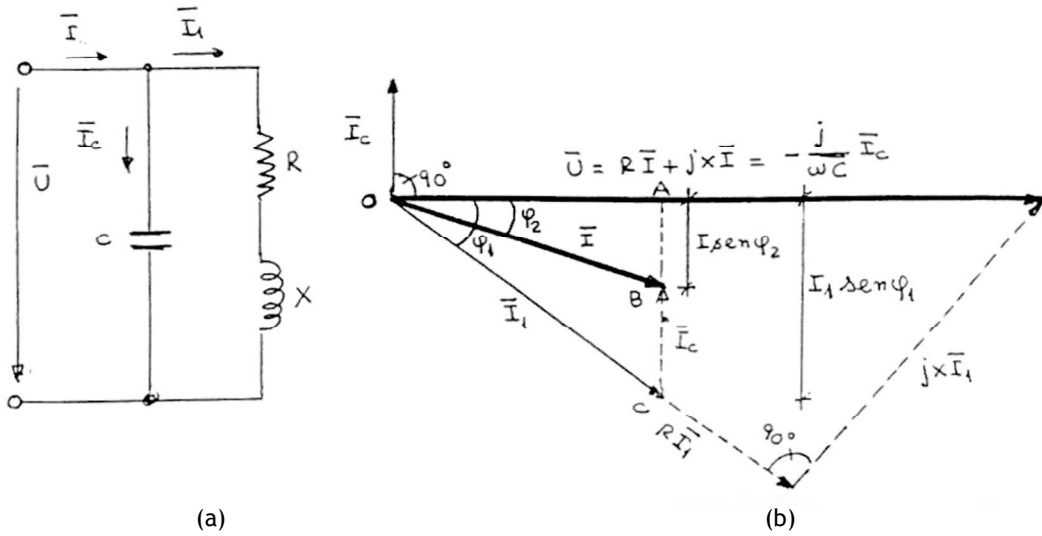


Figura 5.1 - (a) Esquema de circuito elétrico, (b) diagrama fasorial [28].

O diagrama de funcionamento anterior, por simples considerações geométricas, permite-nos o estabelecimento das seguintes relações:

$$\overline{OA} = I_1 \cos\varphi_1 = I \cos\varphi_2 \rightarrow I = I_1 \frac{\cos\varphi_1}{\cos\varphi_2} \quad (14)$$

$$\overline{BC} = I_c = I_1 \sin\varphi_1 - I \sin\varphi_2 = I \sin\varphi_1 - \left(I_1 \frac{\cos\varphi_1}{\cos\varphi_2}\right) \sin\varphi_2 \quad (15)$$

Designando-se por  $Q_c = UI_c$ , a potência elétrica reativa fornecida pelo condensador  $C$ , e por  $P = UI_1 \cos\varphi_1 (= UI \cos\varphi_2)$ , a potência elétrica ativa consumida pelo circuito elétrico de impedância  $\bar{Z} = R + jX_L$  (o qual, como se referiu, é suposto ser do tipo indutivo), teremos:

$$Q_c = UI_c = UI_1 \sin\varphi_1 - UI_1 \cos\varphi_1 \frac{\sin\varphi_2}{\cos\varphi_2} = UI_1 \cos\varphi_1 \left( \frac{\sin\varphi_1}{\cos\varphi_1} - \frac{\sin\varphi_2}{\cos\varphi_2} \right) \quad (16)$$

ou seja,

$$Q_c = P(tg\varphi_1 - tg\varphi_2) \quad (17)$$

Atendendo-se a que  $Q_c = UI_c = U(\omega C U) = \omega C U^2$ , o valor da capacidade  $C$  do condensador a ligar em paralelo com a impedância  $\bar{Z} = R + jX_L$ , por forma a que o desfasamento entre a tensão e a corrente elétrica se reduza de  $\varphi_1$  para  $\varphi_2$ , é nos dado pela expressão:

$$C = \frac{P(tg\varphi_1 - tg\varphi_2)}{\omega U^2} \quad (18)$$

Verifica-se no diagrama anterior que, antes da compensação do circuito  $\bar{Z} = R + jX_L$ , ou seja, da ligação em paralelo do condensador  $C$ , a intensidade de corrente na linha de abastecimento  $|\bar{I}_1|$ , com a ligação do condensador  $C$ , a corrente na linha passa a ser  $|\bar{I}| < |\bar{I}_1|$ , reduzindo, por conseguinte, a queda de tensão nessa linha e as perdas por efeito de joule  $\sum RI^2$ , nos respetivos condutores.

### 5.3 - Correção do fator de potência

Algumas grandezas, da rede elétrica e das instalações de utilização, devem ser corrigidas de modo a garantir elevados níveis de qualidade, não só nas redes de transporte e distribuição de energia elétrica (para a regulação da tensão elétrica, através da redução das quedas de tensão nos respetivos circuitos), como também nas instalações elétricas de utilização (promovendo a utilização racional de energia, otimizando os custos da sua aquisição).

A correção do fator de potência consiste em, localmente, numa rede/instalação elétrica de utilização, dota-la de meios próprios, para que consiga produzir a sua energia reativa que consome. Para isso é necessário dimensionar corretamente os seus equipamentos, bem como as suas canalizações elétricas.

Neste sentido a correção do fator de potência é realizada por meio de condensadores estáticos (instalados isoladamente, ou em baterias de condensadores), em paralelo com os circuitos ou instalação elétrica, tendo em conta que estes não consomem energia ativa e o seu custo inicial é relativamente baixo, face ao seu rácio custo/benefício e a sua facilidade de instalação.

### 5.4 - Desvantagens da correção do fator de potência

Pelas mais diversas causas, os efeitos de um baixo fator de potência, resultantes do consumo excessivo de energia reativa, conduzem-nos às seguintes situações menos adequadas (com especial incidência nas instalações elétrica de utilização):

- Aumento da potência contratada da instalação em (kVA);
- Aumento da temperatura dos cabos/condutores, causado essencialmente pelas perdas de efeito de joule e, por conseguinte, aumento da queda de tensão nos mesmos cabos/condutores;
- Calibres superiores das aparelhagens de proteção, comando/manobra;
- Disparos das proteções sem causa aparente;
- Instabilidade dos níveis de tensão, na instalação elétrica de utilização, podendo provocar avarias nas cargas/equipamentos;
- Redução da potência ativa disponível aos terminais do secundário do transformador de potência, instalados nos postos de transformação (públicos ou privados) que abastecem as instalações elétricas de utilização;
- Penalização tarifária pelo consumo excessivo de potência (e energia) reativa;

## 5.5 - Otimização da fatura energética

Independentemente da aplicação de qualquer dos sistemas tarifários em vigor, e com o carácter de uma penalização, os consumidores estão sujeitos ao pagamento do excesso de energia reativa indutiva consumida fora das horas de vazio (portanto nas horas cheias e pontas), pelo que cada vez mais se incentiva à aferição do ciclo ótimo de consumos, à correção do fator de potência nas instalações, bem como na configuração dos equipamentos existentes.

Um bom fator de potência permite otimizar técnico-economicamente uma rede/instalação elétrica, quer seja ao nível da rede de transporte e distribuição, como de utilização.

Neste contexto serão focadas essencialmente as alterações das regras de faturação da energia reativa, que terão impacto direto ou indireto, nas instalações elétricas de utilização nos edifícios, em que a entrega de energia pode ser efetuada em Média Tensão (MT) ou Baixa Tensão Especial (BTE).

### 4.2.1 - Regras de faturação de energia reativa

Consideremos as regras de faturação de energia reativa, no contexto do uso das redes de transporte e distribuição, que vigoravam em Portugal até a entrada da nova regulamentação. Este regime jurídico foi aprovado pela Entidade Reguladora de Serviços Energéticos (ERSE), através da publicação do Despacho n.º 18413A/2001, de 1 de setembro [29].

Em matéria de faturação de energia reativa, as disposições do Regulamento de Relações Comerciais (RRC), que vigoravam anteriormente, estabeleciam que [29]:

- Apenas seria faturada energia reativa nos fornecimentos em Muito Alta Tensão (MAT), Alta Tensão (AT), MT e BTE.
- A energia reativa consumida designa-se de indutiva e a energia reativa fornecida às redes designa-se de capacitiva.
- O período de integração que vigorava era mensal para MAT, AT e MT, enquanto o BTE era diário.
- A energia reativa consumida nas Horas Fora de Vazio (HFV), ou seja, nas horas de cheia e pontas do período respeitante, que excede-se 40% da energia ativa consumida durante o mesmo período, era objeto de faturação.
- A energia reativa injetada na rede durante as Horas de Vazio (HV) podia ser objeto de faturação.

### 4.2.2 - Novas regras de faturação de energia reativa

Com a entrada em vigor do novo RRC, aprovado pela ERSE, através da publicação do Despacho n.º 22393/2008, de 29 de agosto [30], e tendo em conta os objetivos definidos pelo PNAC, em matéria de redução das perdas nas redes de transporte e de distribuição de energia elétrica, e na tentativa de promover uma melhoria da eficiência energética nas instalações elétricas de utilização, a ERSE aprovou novas regras que definem o regime de faturação de energia reativa indutiva ou capacitiva, aplicável pelo uso das redes elétricas, publicadas no Despacho n.º 7253/2010, de 26 de abril [31].

Com a publicação do Despacho n.º 12605/2010, de 10 de agosto [32], a ERSE, define os fatores multiplicativos a aplicar ao preço de referência de energia reativa, por escalão de faturação de energia reativa indutiva relativo ao uso das redes elétricas de transporte e de distribuição, nos termos da tabela 5.1 [32].

Tabela 5.1 - Escalões à aplicar na faturação de energia reativa indutiva e capacitiva pelo uso das redes [32].

Escalão	Descrição	Fator multiplicativo
Escalão 1	Corresponde a $\text{tg}\varphi$ superior ou igual a 30% e inferior a 40% ( $0.3 \leq \text{tg}\varphi < 0.4$ )	0.33
Escalão 2	Corresponde a $\text{tg}\varphi$ superior ou igual a 40% e inferior a 50% ( $0.4 \leq \text{tg}\varphi < 0.5$ )	1
Escalão 3	Corresponde a $\text{tg}\varphi$ superior ou igual a 50% ( $\text{tg}\varphi \geq 0.5$ )	3

Em matéria de faturação de energia reativa que vigora atualmente, as disposições do RRC estabelecem que:

- A energia reativa indutiva medida nas HFV em cada período de integração que exceda 30% da energia ativa consumida no mesmo período é objeto de faturação, sendo o preço aplicar a energia reativa indutiva medida nas HFV, variável por escalões, em função da energia reativa indutiva medida em cada período de integração, em percentagem da energia ativa medida no mesmo período, considerando os valores da  $\text{tg } \varphi$  apresentados na tabela 5.1;
- O período de integração passa a ser diário, para todos os clientes MAT, AT, MT e BTE, sendo espectável que o controlo do trânsito de energia reativa venha a ser mais rigoroso de forma a evitar penalizações;
- A introdução de mais dois escalões de faturação, passando a três escalões, por forma a traduzir-se num incentivo à utilização das redes elétricas de modo mais eficiente, pelo que exige uma compensação mais próxima das cargas, reduzindo assim significativamente a energia reativa nas redes de transporte e distribuição, caso contrário o operador de rede e o consumidor serão penalizados;
- Para os novos clientes, o distribuidor vinculado apenas poderia faturar a energia reativa passados 8 meses após o início do fornecimento;
- A energia reativa será faturada por aplicação dos preços definidos em €/Kvarh, nas quantidades apuradas nos termos anteriores.

Considerando as novas regras de faturação de energia reativa, estas surgem pela necessidade de adaptar a regulamentação à realidade tecnológica atual, por forma a aumentar a eficiência na operação das redes, conduzindo à redução de perdas.

Incentivo aos limites da adequada compensação de energia reativa pela fixação de limites mais exigentes.

## 5.6 - Configurações da compensação do fator de potência

Dependendo do tipo de cargas/equipamentos associados nas mais diversas instalações de utilização, a compensação de energia reativa, pode ter três configurações possíveis, tendo como objetivo uma melhoria da eficiência energética da instalação de utilização, aliada a uma relação custo/benefício.

Seguidamente serão apresentadas os vários tipos de configurações, resumindo-se as suas vantagens e desvantagens de cada uma delas.

### 5.6.1 -Compensação global de energia reativa

Quando existe um número significativo de cargas indutivas estáveis e contínuas numa instalação elétrica de utilização, a compensação global é a mais aconselhada e mais económica, de acordo com a figura 5.2.

A solução passa pela montagem de uma bateria de condensadores com regulação automática por escalões, em paralelo com o quadro elétrico geral da instalação de utilização. A potência total da bateria de condensadores é subdividida por vários condensadores, formando os respetivos escalões, com ligações independentes.

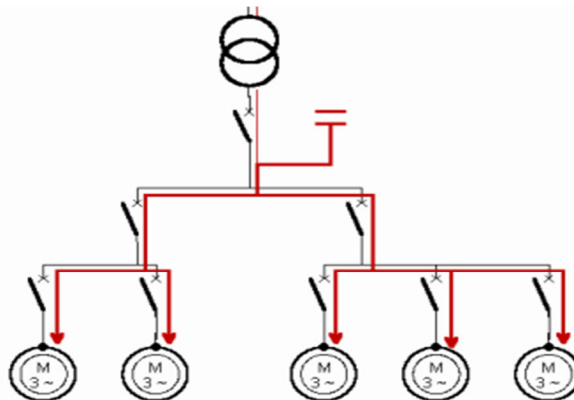


Figura 5.2- Compensação global

O regulador de energia reativa, mede em todos os momentos as necessidades da instalação, ligando e desligando condensadores de modo alcançar o  $\cos \varphi$  desejado ou programado. A solução da compensação global apresenta as seguintes vantagens:

- Suprimir as penalizações de energia reativa na fatura emitida pelo distribuidor/comercializador de energia, para a instalação de utilização;
- Otimizar o rendimento do transformador de potência de alimentação da instalação;
- Toda a potência reativa está concentrada num único ponto, sendo que o coeficiente de evolução permite otimizar a bateria de condensadores;
- Custos de instalação reduzidos.

Como principais desvantagens, a solução apresenta:

- A corrente reativa, continua a circular pela instalação a jusante da bateria de condensadores;
- As perdas por efeito de joule mantem-se na instalação, pelo que não é possível redimensionar as canalizações elétricas da mesma;

### 5.6.2 -Compensação por setor ou por grupos de energia reativa

Considerando os aspetos técnicos-económicos das instalações de utilização, torna-se uma das melhores soluções, na medida em que se pode ter um maior controlo sobre o fator de potência. Este tipo de compensação consiste na instalação de condensadores ou baterias de condensadores, junto a cargas/equipamentos específicos ou quadros parciais da instalação que alimentam as cargas/equipamentos de um determinado setor da instalação, conforme a figura 5.3.

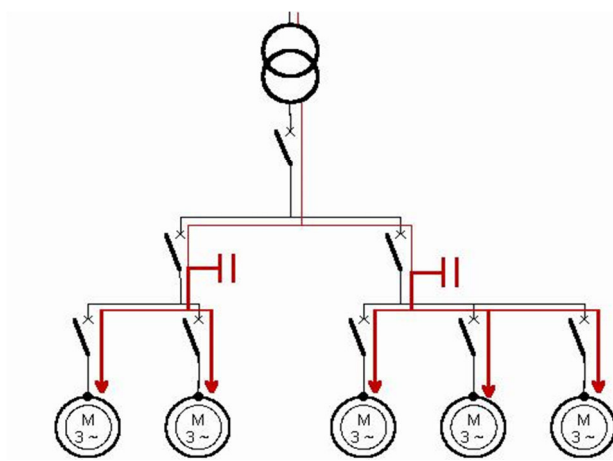


Figura 5.3 - Compensação por setor ou grupos

Este modo de compensação é interessante, quando os vários setores da instalação de utilização apresentam regimes de cargas diferenciadas. A solução apresenta as seguintes vantagens:

- Suprimir as penalizações de energia reativa na fatura emitida pelo distribuidor de energia, para o grupo de cargas em estudo da instalação;
- A diminuição das perdas por efeito de joule e por conseguinte as quedas de tensão nas diversas canalizações elétricas de alimentação aos vários quadros parciais, a montante da compensação;
- A otimização da capacidade instalada da instalação de utilização, a montante da compensação;

Como principais desvantagens, esta solução apresenta:

- A manutenção do sistema;
- Os escalonamentos dos condensadores se não forem bem dimensionados, em função da potência reativa requerida, pode correr-se o risco de um sobredimensionamento em determinados períodos de funcionamento da instalação;



- A impossibilidade de redução das correntes reativas nos circuitos de alimentação de cada carga/equipamento.

### 5.6.3 -Compensação Individual ou Local de energia reativa

Em instalações de utilização que sejam constituídas por cargas muito indutivas e de potência considerável face à potência total da instalação e com um elevado número de horas de funcionamento, efetuar a compensação da carga/equipamento individualmente torna-se economicamente viável.

Esta compensação é conseguida, instalando um condensador ou bateria de condensadores diretamente aos terminais da carga/equipamento que se pretende corrigir.

Esta solução apresenta as seguintes vantagens:

- Diminui as quedas de tensão e as perdas por efeito de joule nas canalizações elétricas, a montante da compensação;
- Otimização da capacidade instalada a montante da compensação;
- Não necessitam de escalonamento, se o equipamento operar de forma regular e apresentar uma característica muito indutiva;

Como principal desvantagem, esta solução apresenta:

- Se a compensação apresentar-se muito distribuída, torna a manutenção do sistema mais complexa;
- Custos elevados do equipamento de compensação da energia reativa, quando as cargas/equipamentos não funcionarem continuamente, sendo que os condensadores ficam fora de serviço;

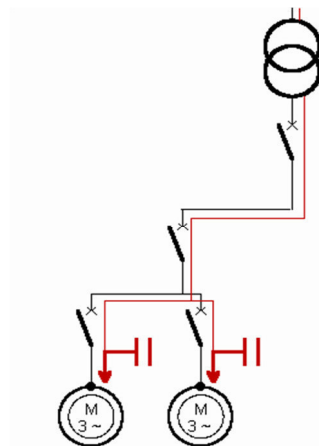


Figura 5.4 - Compensação individual

## 5.7 - Caso de estudo - correção do fator potência

O presente caso de estudo centra-se na correção do fator de potência, através da análise da fatura de energia elétrica reativa da instalação elétrica de utilização do edifício

“Residência de estudantes Universitários do Campo Alegre“, mais conhecida por RUCA I, situado na freguesia do Campo Alegre, Porto.

No decorrer do programa de eficiência energética P3EUP, descrito no capítulo 2, uma das medidas implementadas para melhoria da eficiência energética, no património edificado da UP, foi a correção do fator de potência das instalações elétricas de utilização nos edifícios, constantes no anexo 4, ao longo do ano de 2010.

Essa melhoria do fator de potência foi alcançada através da instalação de baterias de condensadores com regulação automática nas instalações, tendo como principal finalidade a diminuição dos custos de energia reativa, entre outras.

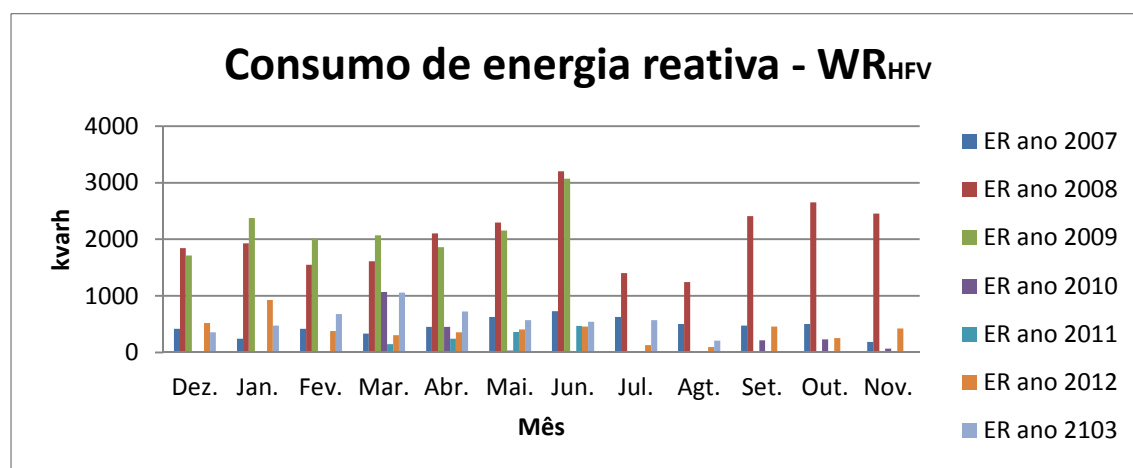


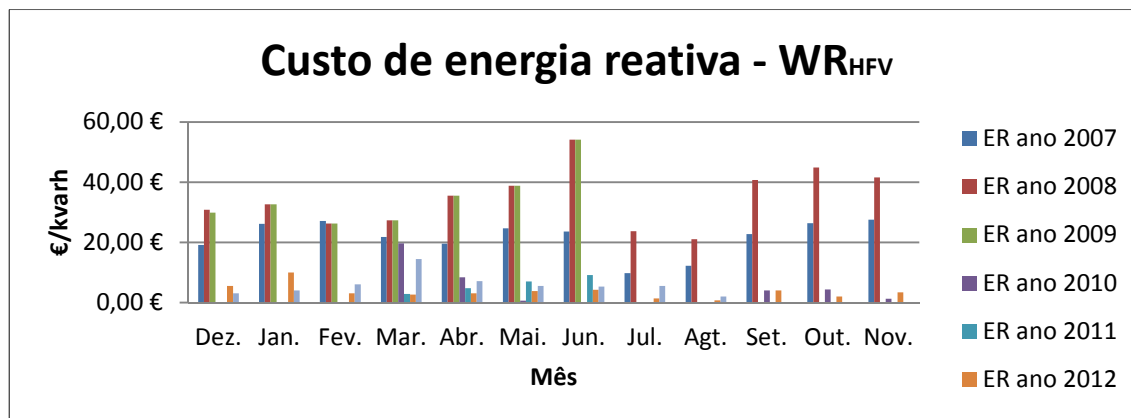
Figura 5.5 - Consumo de energia reativa fora das horas de vazio

Através da análise das faturas de energia elétrica mensais, decorrentes dos anos 2007 a 2013, elaborou-se o gráfico, da figura 5.5, onde se demonstra que o objetivo da correção do fator de potência, na instalação elétrica do edifício RUCA I, foi alcançado através da instalação da bateria de condensadores, ao abrigo do programa P3EUP.

O consumo de energia reativa fora das horas de vazio foi totalmente suprimido em mais de 2/3 dos meses do ano de 2010 e 2011, salvo exceção de pequenos consumos de energia reativa verificados, face igual período homólogo dos anos 2008 e 2009.

Esta intervenção permitiu ao longo de 2010 e 2011, reduzir os custos com energia reativa em mais de 80%.

A partir de 2012, como descrito anteriormente, passaram a vigorar as novas regras de faturação de energia reativa impostas pela ERSE, pelo que as medidas de melhoria de eficiência energética, tomadas no âmbito do programa P3EUP, se revelaram insuficientes, uma vez que se continuou a verificar um consumo de energia reativa HFV, tendo sido objeto de faturação por parte do distribuidor/comercializador de energia.



**Figura 5.6 - Gráfico do custo de energia reativa fora das horas de vazio**

Neste trabalho foi estudado um incremento à solução (redimensionamento da bateria de condensadores), por forma a evitar possíveis impactes na faturação de energia reativa.

A instalação elétrica de utilização estudada é classificada como pertencente ao grupo de estabelecimento de recebendo público, na subcategoria de “empreendimentos turísticos e estabelecimentos similares”, de acordo com as Regras Técnicas de Instalações Elétricas de Baixa Tensão (RTIEBT), não sendo caracterizada por cargas de elevada potência do tipo indutiva, mas mesmo assim verificou-se um consumo de energia reativa.

Na sequência da análise das faturas de energia elétrica mensais decorrentes do período setembro de 2012 a setembro de 2013, constata-se que os Serviços de Ação Social da Universidade do Porto (SASUP) tiveram um encargo anual cerca de 65€/ano de energia reativa, com uma potência contratada de 146,48kVA, conforme é representativo na tabela 5.2.

**Tabela 5.2 - Resumo dos encargos mensais de energia reativa - RUCA I**

Ano	Mês	EA Super Vazio	EA Vazio	EA Pontas	EA Cheias	ER Cons.FV Esc.1	ER Cons.FV Esc.2	ER Cons.FV Esc.3
		kWh				kvarh		
2012	19set. a 18out.	1634,0	3366,0	959,0	6479,0	422	37	0
	19out. a 18nov.	1798,0	4306,0	1902,0	5933,0	246	8	0
	19nov. a 18dez.	1914,0	3898,0	2585,0	5784,0	418	10	0
	19dez. a 18jan.	1879,0	3722,0	1174,0	5983,0	334	24	0
2013	19jan. a 18fev.	1977,5	4253,6	2338,9	5888,2	454	25	0
	19fev. a 18mar.	1804,6	3603,2	2418,2	5726,2	629	51	0
	19mar. a 18abr.	1809,6	3531,9	1385,7	6410,8	732	303	25,35
	19abr. a 18mai.	1837,0	4266,4	842,5	6221,4	629	96	0
	19mai. a 18jun.	2039,8	4182,0	951,1	6760,4	507	67	0

19jun. a 18jul.	2063,8	3293,5	901,1	5976,2	477	68	0
19jul. a 18agt.	1517,4	2510,0	577,1	3307,7	507	67	0
19agt. a 18set.	1436,4	2144,7	697,3	3840,0	189	23	0

Procedendo ao cálculo de redimensionamento da bateria de condensadores, teremos então:

Energia ativa consumida nas horas fora de vazio ( $W_{HFV}$ ) = 7082,8 kWh

Energia reativa faturada ( $WR_{Faturada}$ ) = 529,03 kvarh

$WR_{HFV} = WR_{Faturada} + 0,3 \times W_{HFV} = 529,03 + 0,3 \times 7082,8 = 2653,84$  kvarh

$$\operatorname{tg} \varphi_{1 \text{ med HFV}} = \frac{WR_{HFV}}{W_{HFV}} = 0,375$$

$$\varphi_{1 \text{ med HFV}} = \arctg(0,375) = 0,359$$

O fator de potência da instalação é de,  $\cos \varphi_{1 \text{ med HFV}} = 0,936$

Uma vez calculado ( $\operatorname{tg} \varphi_{1 \text{ med HFV}} = 0,375$ ), e sendo este valor superior a 0,3, logo é objeto de faturação de energia reativa, devendo-se corrigir o fator de potência da instalação elétrica de utilização para um mínimo de  $\cos \varphi_{2 \text{ med HFV}} = 0,96$ , correspondente a um ( $\operatorname{tg} \varphi_{2 \text{ med HFV}} = 0,3$ ), por forma a evitar o pagamento da energia reativa.

Aplicando a expressão já anteriormente referida,  $Q = P \times (\operatorname{tg} \varphi_1 - \operatorname{tg} \varphi_2)$ , pode-se calcular facilmente a potência de compensação.

$$\operatorname{tg} \varphi_{1 \text{ med HFV}} = 0,375 \rightarrow \cos \varphi_{1 \text{ med HFV}} = 0,936$$

$$\operatorname{tg} \varphi_{2 \text{ med HFV}} = 0,3 \rightarrow \cos \varphi_{2 \text{ med HFV}} = 0,96$$

$$Q = P \times (\operatorname{tg} \varphi_1 - \operatorname{tg} \varphi_2) = 146,48 \times (0,375 - 0,3) = 10,95 \text{ kvar}$$

## 5.8 - Conclusões

Ao longo deste capítulo foram abordados os principais conceitos, bem como vantagens e desvantagens da correção do fator de potência, por forma a promover uma melhoria na eficiência energética das instalações elétricas de utilização.

Foi também estudado o impacte das novas regras de faturação de energia reativa à aplicar pelo ORD.

Relativamente ao caso de estudo em questão, conclui-se que é necessário redimensionar a bateria de condensadores instalada para uma potência de compensação mínima de 11kvar, por forma a evitar qualquer encargo pelo consumo energia reativa HFV, pelo uso das redes ao distribuidor.

Contudo sugere-se que esta seja redimensionada no local, para uma potência de compensação de 25kvar, necessitando o seu relé varimétrico de um nova reprogramação, de modo a manter o fator de potência da instalação elétrica, muito próximo da unidade, em qualquer situação dos três escalões tarifários.

Este novo redimensionamento da bateria de condensadores, pode ser objeto de financiamento no âmbito do programa ECO.AP, enquadrando-se no financiamento do FEE, pelo aviso 18 redução de consumos de energia reativa no Estado 2015.



## Capítulo 6

# Sistema de monitorização de energia

Ao contrário das últimas décadas, a sociedade atual está a entrar num novo período em que a gestão e o controlo da energia passa a ter um papel fundamental no dia-a-dia.

Devido à pressão dos mercados e especuladores, os custos da energia têm vindo aumentar de forma progressiva, tendo um impacto direto sobre as despesas operacionais e custos adicionais nos produtos, pelo que cada vez mais se requer um conhecimento aprofundado das instalações de utilização e dos processos de fabrico.

Nos últimos anos tem-se assistido a um aumento da montagem de instrumentos eletrónicos nas instalações elétricas de utilização, baseados em microprocessadores que desencadearam o aparecimento de sistemas de monitorização de energia, permitindo assim a recolha, transmissão e a análise da informação relativa à exploração das instalações.

Outrora, a recolha dos dados de exploração das instalações de utilização eram realizados manualmente, sendo um processo oneroso, pouco sistemático, com informação imprecisa e propícia a erros, para além disso, não permitia a disponibilização e o processamento da informação em tempo real.

Normalmente, a informação disponibilizada, circunscrita aos valores de tensão, da intensidade de corrente, da energia ativa e reativa e do  $\cos\phi$ , tinha como finalidade o controlo qualidade de alimentação de energia, os consumos de energia e as possíveis penalizações por injeção ou consumo de energia reativa.

Da necessidade de disponibilizar informação atualizada e precisa, surgem os primeiros analisadores de redes com comunicação incorporada. Estes podem estar interligados numa rede de comunicação, denominada de 'bus', podendo operar segundo um sistema 'mestre/escravo', desde que esteja garantido o mesmo protocolo de comunicação.

As primeiras redes de comunicação eram rudimentares e relativamente isoladas, concebidas por equipamentos em que cada fabricante tinha o seu próprio protocolo de comunicação.

Atualmente, esta questão, salvo raras exceções, encontra-se ultrapassada, na medida em que houve uma grande evolução, que decorreu do fato de diferentes fabricantes de equipamentos adotarem o mesmo protocolo de comunicação.

Com a introdução de Sistema de Monitorização de Energia em Edifícios é possível monitorizar os consumos de energia de forma regular e em tempo real, o que permitirá a identificação de consumos fora do normal e identificar e segmentar os custos de energia de cada circuito monitorizado, dependendo do período de utilização.

Nesta sequência, através da medição e comparação de consumos é possível sensibilizar os utilizadores para as poupanças que podem ser atingidas, através de uma utilização racional de energia e ainda reduzir a fatura energética, promovendo a eficiência.

## 6.1 - Conceitos básicos sobre instrumentos numa rede SGE

A grande maioria de sistemas com instrumentação e controlo distribuído combinam distintos pontos de medida e controladores, com maior ou menor grau de inteligência (processadores mais ou menos potentes) [33].

Os analisadores de energia só podem estar agrupados numa rede local de baixo nível e de curta distância, comunicando num nó que se denomina de ‘mestre-escravo’.

Em geral, os instrumentos de uma rede de comunicações ‘mestre-escravo’ estão ligados entre si por ligações e protocolos simples, formando o que se denomina um ‘bus de campo ou barramento’ de baixo nível.

O dispositivo ‘mestre’ pode ser um instrumento com processador mais potente, como por exemplo autómato programável, analisador de rede entre outros.

A ligação lógica entre um dispositivo mestre e o resto dos nós da rede local (dispositivos escravos) é independente do meio físico e é realizada apenas por dispositivos escravos, que respondem aos pedidos de informação do dispositivo ‘mestre’.

Ou seja, o protocolo é sempre de pergunta resposta, iniciado pelo dispositivo ‘mestre’ e a resposta aparece quando um determinado dispositivo ‘escravo’ é interrogado. Assim, evita-se a colisão de dados na rede, oriundos de distintos dispositivos a transmitir em simultâneo.

Em vez disso, observa-se que todos os dispositivos de rede recebem e transmitem todas as informações que flui através da rede.

Um outro aspeto a considerar, é como se identifica cada dispositivo na rede, pois bem, para identificar os diferentes dispositivos na rede, cada um deve conter um número de equipamento atribuído, que o identifica dentro do ‘bus ou barramento’ de uma forma inequívoca.

A atribuição deste número, bem como outras definições de parâmetros de comunicações, pode ser feito pelo próprio teclado do dispositivo ou efetuando uma ligação ponto a ponto, entre o dispositivo e um computador mediante *software* desenvolvido para esse fim.

## 6.2 - Redes de comunicação

As redes de comunicação constituem um sistema determinante para a implementação de Sistemas Gestão de Energia (SGE). Este fator é devido à complexidade do fluxo de dados requeridos, pelo que um elevado número de equipamentos e computadores devem ser interligados de forma a comunicarem eficientemente entre si.

Uma rede de comunicação é um conjunto de nós (equipamentos de processamento) que comunicam entre si, através de linha de transmissão de sinal. As necessidades, que conduz à

utilização de uma rede de comunicação, podem ser agrupadas pela partilha do recurso, cooperação entre sistemas de processamento e a comunicação de dados.

### 6.2.1 -Tipo de redes de comunicação

As tecnologias de redes de comunicação, usadas no sistema de gestão, podem ser classificadas segundo três categorias genéricas, de acordo com a dimensão da rede a ser criada.

- Rede LAN, denominada de rede de comunicação local ou ‘privada’, que compreendem áreas geográficas limitadas na ordem das várias centenas de metros, interligando vários equipamentos de comunicação. Esta tem várias características associadas, como taxas de transmissão modernas (desde 10 Mbps até 1 Gbps, sendo atualmente o valor de 100 Mbps o mais comum), fiabilidade e baixa taxas de erros, utilização eficiente dos recursos partilhados em particular do próprio canal de transmissão, dependência mínima de componentes ou de elementos de controlo centralizado, acesso junto à rede para todos os sistemas interligados, facilidade de reconfiguração e manutenção.
- Rede MAN (Metropolitan Area Network), denominada de rede de comunicação local ou ‘privada’, compreendendo área geográfica metropolitana, interligando vários equipamentos de comunicação. Esta tem várias características associadas, como taxas de transmissão modernas (desde 10 Mbps até 1 Gbps, sendo atualmente o valor de 100 Mbps o mais comum), fiabilidade e baixa taxas de erros, utilização eficiente dos recursos partilhados em particular do próprio canal de transmissão, dependência mínima de componentes ou de elementos de controlo centralizado, acesso junto à rede para todos os sistemas interligados, facilidade de reconfiguração e manutenção.
- Uma rede WAN (“Wide Area Network”), denominada de redes de comunicação de operadores (públicos ou privados), compreendendo áreas geográficas alargadas, à escala de um país ou vários países ou continentes. São constituídas por múltiplas redes interligadas, do tipo LAN’s e MAN’s.

### 6.2.2 -Topologia de redes

A estratégia de interligação entre nós/dispositivos define a topologia de uma rede de comunicações podendo ser feita através de várias topologias de rede, sendo as mais comuns em estrela, barramento ou anel. A figura 6.1 mostra as várias topologias de rede.

Em redes locais, com topologia estrela, existe um único nó central que é responsável por estabelecer o controlo e gestão da comunicação entre os restantes dispositivos terminais, que se desejarem comunicar. Todas as comunicações passam pelo nó central, sendo o meio de transmissão constituído por ligações ponto a ponto. Cada ligação, não une mais do que dois nós, um ‘mestre’ o outro ‘escravo’. A sua ligação física esta normalizada para distâncias curtas e podem-se considerar robustas para distâncias de transmissão não superiores a 15metros [34].



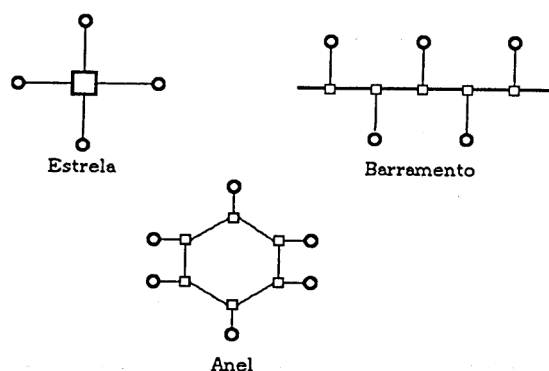


Figura 6.1 - Topologia de redes de comunicação, [34].

Nas redes locais com topologia por meio de barramento, estas são caracterizadas pelo uso de um meio multiponto ou seja um único meio físico, onde estão ligados todos os nós que fazem parte da rede de comunicação. O fato do meio de transmissão ser partilhado por todos os nós de rede, dificulta significativamente o processo de comunicação, pelo que impõem a existência de um protocolo de comunicação, para controlo de acesso ao meio de modo a evitar colisões entre as mensagens/pacotes enviados, simultaneamente pelos diferentes nós. A sua ligação física está normalizada para distâncias de transmissão até 1200 metros [34].

As redes locais com topologia em anel, são caracterizadas por vários nós interligados aos nós vizinhos. No caso de querer comunicar com outros nós as mensagens terão de ser enviadas através dos nós vizinhos. Numa rede em anel, o meio de transmissão pode ser unidirecional ou bidirecional, pelo que, no caso unidirecional toda a informação circula no mesmo sentido e cada nó só pode comunicar diretamente com o nó vizinho seguinte, enquanto no caso bidirecional a informação circula em ambos os sentidos e cada nó pode comunicar diretamente com os nós vizinhos de ambos os lados.

### 6.3 - Protocolos de comunicação

Um protocolo de comunicação é um conjunto de regras e convenções (linguagem comum), que regulam a comunicação entre todos os nós instalados numa rede de comunicações.

O objetivo do protocolo é estabelecer uma ligação entre nós, identificando o emissor e o recetor, assegurando que toda a informação é transmitida em sequência e executada com precisão através de regras previamente definidas. A informação para ser transmitida é compactada num mensagem/pacote e enviada para um ou mais nós da rede.

Existem diferentes tipos de protocolos de comunicações, entre os quais destacam-se: *Modbus*, *CANopen*, *DeviceNet*, *Profibus*, *Fieldbus*, etc.

No presente trabalho, faz-se referência ao protocolo de comunicação *Modbus*, sendo que é o protocolo de comunicação, utilizado no SGE nos edifícios da UP.

*Modbus* é um protocolo de comunicação série, aberto, de baixo nível, baseado numa arquitetura de gestão 'mestre/escravo' situado no nível 2 do modelo OSI ou de cliente/servidor situado no nível 7 do modelo OSI. Com uma velocidade de transmissão que varia entre os 9600 e os 19200bps, este protocolo opera através de ligação série do tipo assíncrona, ponto a ponto ou multiponto, sobre um barramento de dados, cuja transmissão se

decompõem numa emissão e receção (full dúplex) RS232 (EIA/TIA 232), (half duplex) RS485 (EIA/TIA-485) ou *Ethernet* [33].

A codificação dos dados na trama pode ser efetuada em *Modbus ASCII*, puramente binário ou *Modbus RTU*, hexadecimal, definindo assim o conteúdo em bits, no campo da mensagem transmitida em série no barramento. Assim, é possível determinar como é que a informação é encriptada e decodificada no campo da mensagem.

A crescente utilização das redes *ethernet*, como meio físico de transmissão de dados, fez com que o protocolo *Modbus* passasse a fronteira das redes locais em edifícios. Com este meio físico de transmissão, baseado numa arquitetura *TCP/IP*, é possível utilizar o protocolo *Modbus* em qualquer instalação, desde que exista uma rede *ethernet TCP/IP*.

O protocolo *Modbus TCP/IP* define o uso de mensagem em *Modbus*, sendo posteriormente encriptado no protocolo *TCP/IP* e transmitido através de uma rede *ethernet*, com controlo de acesso ao meio físico por *CSMA/CD*.

Este protocolo assegura que não se perdem ou dupliquem dados e que toda a informação enviada chega ao seu destino corretamente.

## 6.4 - Arquitetura do SGE

O sistema de gestão de energia é o resultado da integração, numa única estrutura centralizada, de todos os dispositivos/equipamentos do sistema, permitindo a aquisição de dados em tempo real, controlo e supervisão de parâmetros energéticos de edifícios, necessitando para isso de uma interligação de um meio físico de comunicação.

A arquitetura do SGE está ilustrada na figura 6.2, onde se apresentam, por meio de um diagrama de blocos, os três blocos de funcionamento: aquisição, armazenamento e supervisão, comunicando entre si.

Ao nível do bloco de aquisição, os dispositivos locais, os sensores e os analisadores de energia/contadores (eletricidade, água e gás, etc.), embora com capacidades de processamento reduzida, permitem executar tarefas de monitorização de forma desagregada dos parâmetros locais, armazenar informação e comunicar com a unidade de zona.

O bloco de armazenamento, tal como o nome indica, deverá armazenar toda a informação adquirida no bloco de aquisição, vinda das unidades de zona, bem como os parâmetros necessários à configuração do sistema (endereços de rede, variáveis a adquirir, períodos de aquisição, etc.).

O sistema central de armazenamento de dados consiste numa tecnologia baseada em base de dados, que apenas deve conter a informação relevante para a gestão da respetiva zona ou instalação, sendo esta alojada num dos servidores da UP, de modo a concentrar toda a informação recolhida das várias zonas/instalações localizadas em diferentes posições geográficas do campus da UP.

O bloco de supervisão tem um papel preponderante na gestão do sistema, permitindo assim uma supervisão permanente das condições de exploração das zonas/instalações. Todos os dados relevantes vindo das unidades de zona ou locais serão recebidos e processados, por forma a serem apresentados ao gestor do sistema. A partir deste bloco poderão ser enviados comandos para órgãos do sistema, o acerto de hora para efeitos de sincronismo dos dispositivos/equipamentos, e mensagens para as unidades de zona a solicitar informação sobre o estado do sistema. O *software* de monitorização deverá ser concebido, de maneira a

serem carregados vários módulos de modo a tratar os dados provenientes das diversas unidades do sistema e, em seguida, proceder às necessárias monitorizações do sistema.

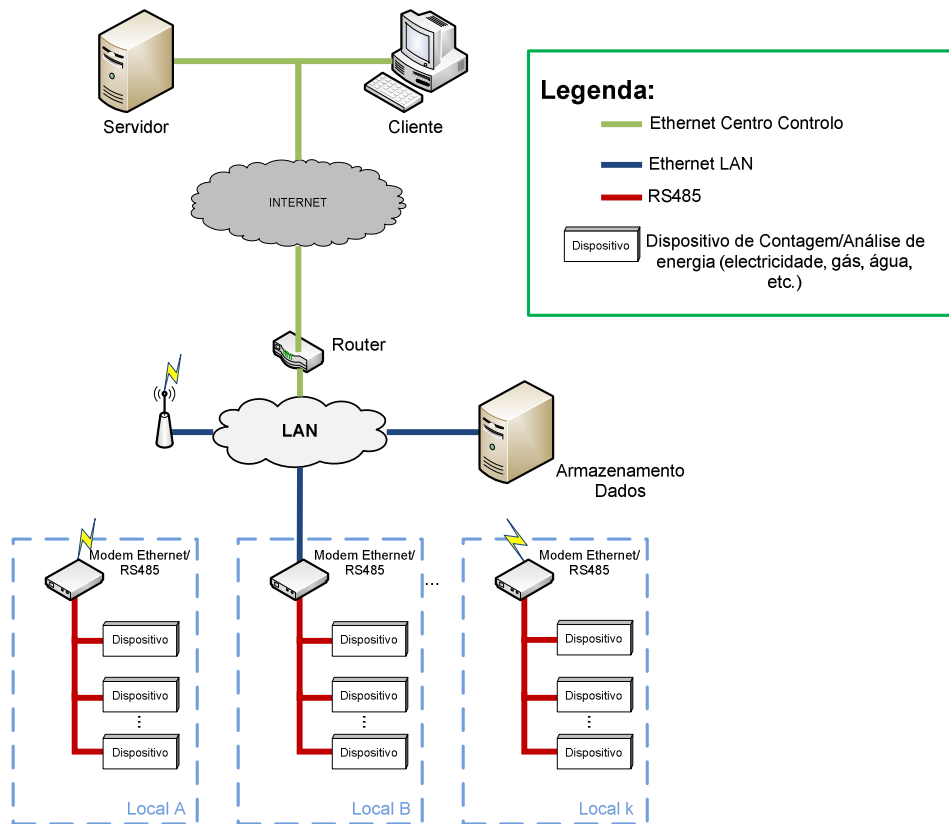


Figura 6.2- Arquitetura de um SGE, [35].

## 6.5 - Software de gestão de energia (SGE)

O *software* de gestão de energia é um programa computacional, integrado num servidor interno da UP, que permite a configuração e programação de todos os dispositivos/equipamentos em rede do SGE, nomeadamente unidades locais, de zona e centro de controlo. Para além da configuração e programação também permite a aquisição, leitura, visualização, processamento e análise de dados relativos aos parâmetros das grandezas energéticas medidas, bem como a avaliação dos consumos de energia, a partir da comunicação estabelecida entre as unidades de zonas instaladas nas instalações elétricas de cada edifício do campus da UP, sendo que este dispõe de uma ligação à base de dados para registar e armazenar os dados recolhidos.

### 6.5.1 - Base de dados

O sistema de armazenamento e gestão de dados assenta numa tecnologia de base dados relacionais, seguindo um modelo cliente-servidor [36], com acesso em tempo real através de comunicação *TCP/IP*, incorporando a informação oriunda dos diversos edifícios do *Campus* da UP.

Esta base de dados terá como principal função a centralização e gestão da informação específica relativa às grandezas energéticas recolhidas pelas unidades locais e de zona, de forma a permitir a consulta e análise dos dados de uma determinada instalação. Os dados que vão sendo obtidos pelas unidades de zona serão automaticamente guardados na base de dados.

O servidor de base de dados, que utiliza o serviço MySQL, opera sob uma linguagem de consulta estruturada Structured Query Language (SQL) para suporte do *Website*, do sistema de gestão de energia.

Esta linguagem permite, desde a sua construção, manipular dados e propriedades da base de dados, ou seja, introduzir alterações, gerir a permissão de acesso, proceder a consultas, exportar dados, etc.

Para permitir o acesso à base de dados, nomeadamente à informação relativa a cada uma das instalações, e de forma a analisar ou detetar algum evento anómalo foi desenvolvida uma plataforma monitorização *Web*, que se irá descrever ao longo deste texto.

## 6.6 - Equipamentos do SME

O sistema de gestão de energia é constituído por vários dispositivos/ equipamentos que se descrevem de seguida.

### 6.6.1 - Analisadores de rede

Os analisadores de rede são dispositivos eletrónicos, com módulo de comunicação incorporado, que medem o consumo de energia elétrica e analisam os principais parâmetros de energia elétrica, de uma instalação elétrica ou parte. Têm como principal função a recolha de dados medidos e o respetivo envio para as unidades de zona ou concentradores do sistema de gestão de dados. Entre outras funções, podem efetuar armazenamento de dados, sincronização e monitorização em tempo real, etc.

Estes equipamentos devem possuir comunicações por porta série RS-485, com isolamento galvânico e protocolo de comunicação em modo *Modbus RTU*.

### 6.6.2 - Transformadores de intensidade

Com a necessidade de medir as grandezas elétricas através de equipamentos, tais como: analisadores de rede, contadores elétricos, etc., torna-se necessário intercalar entre os referidos equipamentos de medição e os circuitos a medir, dispositivos que de uma forma simples e eficaz, permita a obtenção das grandezas elétricas, proporcionais às originais, mas com valores significativamente inferiores. Estes devem ser caracterizados pelas suas grandezas fundamentais, nomeadamente potência nominal e classe de precisão e denominam-se por transformadores de intensidade.

Os transformadores de intensidade, utilizados nas instalações de baixa tensão, são transformadores de medida do tipo indutivo de baixa potência, com o enrolamento primário em série com o circuito elétrico principal (que vai ser objeto de medição), e com o

enrolamento secundário praticamente curto-circuitado pela bobine amperimétrica ou resistência (garantindo uma impedância de valor reduzido) no equipamento de medida [25].

### 6.6.3 -Concentradores de impulsos

Os concentradores de impulsos são dispositivos capazes de armazenar, agrupar e ler sinais de impulsos e estados digitais (0 ou 1), de um determinado conjunto limitado de contadores de energia, água ou gás, para posteriormente enviar a informação, através da porta de comunicações, ao sistema de gestão de dados.

### 6.6.4 -Conversor RS485 - TCP/IP

O conversor RS485-TCP/IP é um dispositivo de comunicação de rede, que têm como finalidade efetuar a conversão do meio físico, a partir da porta série RS-485 de comunicação em *ModBus* para *ModBus/TCP IP* através da porta *ethernet* e vice-versa, permitindo assim uma comunicação mais fiável entre equipamentos *Modbus* em redes distintas.

Este permite converter dados provenientes de porta de série RS232, RS485 ou TTL em Ethernet, convertendo as tramas *Modbus* em pacotes *TCP/IP*, permitindo assim o uso de ligações *TCP/IP* ou de *UDP*.

### 6.6.5 -Cabos de comunicação

Tendo em conta o tipo de instalação e configuração da rede de comunicação das diversas interligações entre o conjunto de dispositivos/equipamentos do SGE, instalados nos diversos quadros elétricos dos vários edifícios e postos de transformação, as redes serão concebidas por cabos de comunicação, flexíveis blindados ignífugos, do tipo LIYCY 2x1,5mm<sup>2</sup>, estabelecidos em caminho de cabos existentes ao longo das galerias ou por novos traçados de canalizações de telecomunicações.

### 6.6.6 -Cabos/condutores elétricos

Os cabos/condutores elétricos de potência terão a designação que consta na Norma Portuguesa (NP) NP665 e HD361, pelo que a sua instalação deverá respeitar na íntegra as RTIEBT, sendo que as cores de identificação dos cabos/condutores ao longo de toda a canalização do sistema deverão ser sempre:

- Fases: Castanho, Preto e Cinzento;
- Neutro: Azul;
- Proteção: Verde/amarelo.

## 6.7 - Plataforma de monitorização energia

A exploração dos dados medidos pelos contadores/analísadores de redes e transmitidos pelos concentradores ao *software* de gestão, para processamento dos dados, normalmente

requer de um interface de monitorização com boa capacidade gráfica e com um bom desempenho no seu processamento, num ambiente de trabalho dinâmico, tendo em vista a otimização da produtividade do GLE.

A plataforma de monitorização, realizada no âmbito da presente dissertação, denominada de ‘*Energytracker*’, foi desenvolvida utilizando a linguagem de programação, *JAVA SCRIPT*, *PHP*. Esta, está integrada num servidor *Web*, em que o seu acesso pode ser efetuado remotamente, recorrendo a um *browser* de internet ou intranet, através da introdução da respetiva palavra de acesso.

A plataforma contém um conjunto considerável de módulos, que providenciam o acesso a várias funcionalidades do sistema de gestão:

- Na plataforma, cada módulo (*dashboard*, gráficos, tabelas, históricos, alarmes, configurações), pode ser visto como uma página *Web*;
- Os alarmes são imediatamente visualizados de uma forma intuitiva assim como dispostos em tabelas sumárias;
- Possibilidade de reenviar os alarmes por *e-mail*;
- Uma boa visualização e uma operação rápida das instalações a monitorizar.

Assim é possível beneficiar-se de um sistema proactivo de monitorização de instalações em tempo real e independente do tamanho, da distribuição geográfica, da arquitetura e da topologia de rede de comunicações.

### 6.6.7 - Módulo de acesso autenticação

A plataforma de monitorização de energia estará protegida contra a entrada de utilizadores estranhos ao sistema, pelo que a autenticação dos seus utilizadores seja obrigatória, passando pela introdução de um nome e senha para aceder à plataforma.

No caso de o utilizador se autenticar com dados incorretos, o sistema não permite o acesso, caso contrário passara a monitorizar o sistema na sua página inicial da aplicação, tendo acesso a realizar as ações que achar oportunas.

Figura 6.3 - Imagem do módulo de acesso autenticação, do “*Energytracker*”.

### 6.6.8 - Módulo georreferenciação do património edificado da UP

A utilidade e as aplicações dos sistemas georreferenciados são múltiplas, quando se trata de Eficiência Energética de Edifícios. Na página inicial da plataforma “*Energytracker*” é apresentado o mapeamento do património edificado do *Campus* da UP georreferenciado, sendo que este módulo permite o registo de informação associado a cada um dos edifícios do *Campus* da UP.

Este módulo, recorre à tecnologia API da Google Maps, permite a visualização do mapa da área metropolitana do Porto, via internet, através da aplicação Google Maps, na plataforma desenvolvida.



Figura 6.4 - Imagem, módulo georreferenciação, do “*Energytracker*”

### 6.6.9 -Módulo dashboard

O módulo *dashboard* permite, ao Gestor Local de Energia (GLE), visualizar em tempo real os valores instantâneos das grandezas energéticas adquiridos pelos dispositivos instalados ou monitorizar/analisar a informação registada a partir da base de dados associada ao sistema.

Desta forma é possível detetar, em tempo real o comportamento de uma determinada instalação. Caso sejam detetadas anomalias da instalação é possível proceder a uma rápida intervenção sobre a mesma, com repercussões ao nível da exploração da instalação.



Figura 6.5 - Imagem do módulo dashboard, monitorização de consumos, “Energytracker”.

### 6.6.10 - Módulo gráfico

O módulo gráfico permite, ao GLE a criação de gráficos, consoante os parâmetros a visualizar, podendo sobrepor várias variáveis a analisar. É o próprio utilizador que pode definir a forma de apresentação e o período temporal do gráfico.



Figura 6.6 - Imagem do módulo gráfico, do “Energytracker”



### 6.6.11 - Módulo de tabela

O módulo tabela permite a visualização dos dados adquiridos em forma de tabela bem como a exportação dos mesmos dados para um ficheiro em formato (CSV, ou outro) por forma a poderem ser trabalhados.

The screenshot shows the 'Energytracker' interface with the 'Tabela' (Table) tab selected. The left sidebar lists various devices, with 'UP\_PAR\_Bloco2' selected. The main area displays a table of data for the date '30-12-2010'. The table has three columns: 'Variável' (Variable), 'Data' (Date), and 'Valor' (Value). The data is as follows:

Variável	Data	Valor
A THDId L1 (%)	30-12-2010 00:00:00	15.5
A THDId L2 (%)	30-12-2010 00:00:00	22.3
A THDId L3 (%)	30-12-2010 00:00:00	59.8
AE	30-12-2010 00:00:00	2.116
AI	30-12-2010 00:00:00	12.64
AI1	30-12-2010 00:00:00	12.918
AI2	30-12-2010 00:00:00	8.793
AI3	30-12-2010 00:00:00	16.22
API	30-12-2010 00:00:00	8.232
F	30-12-2010 00:00:00	49.9

Below the table, there is a pagination bar showing 'Exibindo 1-10 de 2255 resultados.' and a button 'Exportar resultados'.

Figura 6.7 - Imagem do módulo tabela, do “Energytracker”.

### 6.6.12 - Módulo de relatório

O módulo relatório permite gerar o relatório dos consumos de uma determinada instalação, possibilitando ao GLE a consulta do histórico do comportamento da instalação. O GLE tem de introduzir os períodos que pretende gerar relatório.

The screenshot shows the 'Energytracker' interface with the 'Relatórios' (Reports) tab selected. The 'Gerar Relatórios' (Generate Reports) form is displayed. It includes the following fields:

- Dispositivo \***: A dropdown menu with 'UP\_PAR\_BlocoA' selected.
- Data de Início \***: A date input field with '02-12-2010' entered.
- Data de Fim \***: A date input field with '31-12-2010' entered. Below this field, a red error message reads: 'Data de Fim não pode ser vazia.' (End date cannot be empty).

At the bottom of the form is a blue button labeled 'Gerar Relatórios'.

Figura 6.8 - Imagem do módulo relatório, do “Energytracker”.

O *software* muda de cor consoante se o período for correto (verde) ou não (vermelho).

O envio dos relatórios pode ser agendado, permitido ao gestor, escolher o destinatário do relatório, o período de recorrência de envio dos mesmos, bem como o formato do relatório em pdf.

### 6.6.13 - Módulo de alarme

A necessidade de disponibilização de alarmes em tempo real determinou o desenvolvimento do módulo de alarme, que possibilita a criação de alarmes para detetar limites de tolerâncias, a partir de qualquer indicador (desde leituras diretas no equipamentos até às variáveis calculadas) e em qualquer localização (instalação de equipamento).

Variável	Data	Valor	Marcar como Lido
AE	29-11-2010 09:45:00	5.841	
AE	30-11-2010 14:00:00	4.888	
AE	05-12-2010 21:15:00	85.049	
AE	06-12-2010 14:15:00	140.558	✓
AE	16-12-2010 02:00:00	38.188	✓
AE	27-12-2010 17:30:00	108.629	✓
AE	28-12-2010 16:00:00	52.388	✓
AI1	04-12-2010 17:00:00	18.566	✓
AI1	04-12-2010 17:15:00	18.405	✓
AI1	04-12-2010 17:30:00	18.204	✓

Figura 6.9 - Imagem do módulo de alarme, do “Energytracker”.

Este módulo permite ao utilizador detetar limites de tolerância de alguns parâmetros monitorizados, podendo aplicar medidas de eficiência em tempo útil.

### 6.6.14 - Módulo de configuração

O módulo configuração permite que sejam facilmente configurados os acessos à plataforma, a alteração da georreferenciação dos edifícios do *Campus* da UP, bem como os custos de energia através do seu ciclo horário, entre outras funcionalidades, etc.

The screenshot displays the 'Energytracker' configuration interface. At the top, there are logos for 'U. PORTO FEUP' and 'U. PORTO REITORIA', along with the text 'Eficiência Energética Implementada nos Edifícios da FEUP'. Below this is a navigation bar with links: 'Energytracker', 'Dashboard', 'Gráficos', 'Tabela', 'Relatórios', 'Alertas', 'Configurações', and 'Logout (admin)'. The main content area is divided into two sections. On the left, under the 'GERAL' tab, there is a list of 'DEVICEs' including 'UP\_PAR\_Bloco2', 'UP\_PAR\_BlocoA', 'UP\_PAR\_BlocoB', 'UP\_PAR\_BlocoC', 'UP\_PAR\_BlocoD', 'UP\_PAR\_Geral', 'UP\_UAEngenharia\_AVAC', 'UP\_UAEngenharia\_Geral', 'UP\_UAEngenharia\_QP0', and 'UP\_UAEngenharia\_QP1'. Below this list are 'LOCALs' 'UP\_Paranhos' and 'UP\_UAEngenharia'. The right section, titled 'Definições', contains four input fields: 'Latitude do centro' (41.147162), 'Longitude do centro' (-8.018288), 'Zoom' (12), and 'Maps Key Api' (AlzaSyCvTIXZVRC3zH-vxQai7h). A 'Guardar' button is located at the bottom of this section.

Figura 6.10 - Imagem do módulo de configurações, do “Energytracker”.

## 6.8 - Conclusão

Ao longo deste capítulo foram abordados os principais conceitos de um SGE, implementado no âmbito do programa P3EUP, uma das medidas de melhoria de eficiência energética, tendo-se dando maior ênfase à monitorização de energia.

Em linha de conta com o caso de estudo (desenvolvimento da plataforma Web) foi abordada a tecnologia das redes de comunicação, protocolos, tipologias e meios de transmissão. Tratando-se de um sistema aberto e normalizado internacionalmente, o *Modbus* encontra-se na vanguarda das redes de gestão de energia, possibilitando a realização de inúmeras aplicações e funções contribuído especialmente para aumento da eficiência energética nos edifícios. Definiu-se também a arquitetura do SGE, bem como os seus equipamentos.

Este sistema permite uma supervisão automática dos consumos existentes de modo que se consiga eliminar desperdícios de energia e, por conseguinte, diminuir os custos energéticos.



# Capítulo 7

## Conclusões

Com a realização da presente dissertação, foi possível adquirir conhecimentos na área da reabilitação energética de edifícios e de implementação de medidas para a melhoria da eficiência energética, tendo sempre por base o aumento do desempenho energético-ambiental dos edifícios.

Os edifícios são responsáveis pelo consumo de 41% da energia primária na Europa, pelo que tem vindo, de forma progressiva, a constituir uma prioridade em matéria de políticas energéticas europeias e nacionais.

Em Portugal, a primeira legislação relativa ao RCCTE, remonta ao início da década de 90. Contudo, apesar desta, legislação ter constituído um passo importante em termos de políticas energéticas, não foi, por si só, suficiente para introduzir o nível de qualidade desejável em termos de desempenho energético-ambiental dos edifícios, com vista à redução dos consumos energéticos.

Relativamente aos edifícios intervencionados, no âmbito do programa P3EUP, todos eles foram licenciados e construídos antes de 2006, altura a partir da qual surge nova legislação, obrigando à certificação energética dos edifícios. Para além da certificação foram realizados planos de manutenção e planos comportamentais para todos os edifícios intervencionados.

Com a implementação dos planos de manutenção, é possível obter um melhor desempenho dos equipamentos e um aumento do tempo de vida útil, reduzindo os custos de exploração. Por esta razão se considera que a manutenção preventiva deverá constituir um dos principais focos de atuação da UP.

Paralelamente foram implementados os planos comportamentais, por forma a sensibilizar, formar e atribuir competências, a todos os colaboradores e utilizadores dos edifícios da UP. Apesar da alteração dos comportamentos humanos, constituir uma barreira à redução dos consumos energéticos, espera-se que, com a implementação do plano, haja um retorno no aumento da eficiência energética.

A implementação de novas medidas de melhoria de eficiência energética nos edifícios traduz-se num aumento da classe energética de cada edifício. De entre as medidas implementadas destacam-se as melhorias do desempenho energético ao nível da envolvente dos edifícios, das instalações térmicas e, finalmente, das instalações elétricas de utilização.

No seguimento dos sistemas capazes de promover a eficiência energética em edifícios, insere-se o sistema solar térmico, assumindo-se como a melhor forma de produção de AQS, resultando numa significativa redução dos consumos energéticos.

Ao nível das instalações elétricas de utilização, uma das formas de promover a eficiência energética nos edifícios consistiu na elevação do fator de potência para valores próximos da unidade, através da instalação e/ou redimensionamento de Baterias de Condensadores (BC). Desta forma, foi possível reduzir ou mesmo eliminar os encargos mensais da energia reativa consumida nas HFV nos vários edifícios intervencionados. No entanto, sugere-se que sejam inspecionadas as BC instaladas no âmbito do P3EUP, de modo a adaptar os relés varimétricos da BC, face aos novos escalões definidos pelas novas regras de faturação.

Caso, haja a necessidade de substituição de algum equipamento das BC inspecionadas é possível recorrer ao programa ECO.AP, enquadrado no financiamento do FEE (Aviso 18 - redução de consumos de energia reativa no Estado 2015), que à presente data se encontra aberto a concurso.

Outra forma de promover a eficiência energética nos edifícios é a instalação de SME. No âmbito da presente dissertação foi desenvolvida uma plataforma *Web*, denominada “*Energy tracker*”, que permite identificar os edifícios que se encontram georreferenciados no mapa e monitorizar permanentemente todos os consumos energéticos desses mesmos edifícios, através de uma base dados instalada num servidor, bem como identificar e alertar quaisquer consumos anormais que se venham a verificar. Para além disso, o sistema permite também segmentar os custos de energia dependendo do período de utilização. A medição e a comparação dos consumos energéticos permitem ter a noção da variação dos consumos e, por conseguinte, dos custos energéticos envolvidos, para os quais poderá ser gerado um relatório energético. Desta forma, é possível sensibilizar os utilizadores para uma utilização racional de energia (URE).

Esta plataforma será um instrumento muito útil, para o GLE no âmbito do programa ECO.AP, por forma a potenciar as boas práticas de eficiência energética.

## 7.1 - Propostas para trabalhos futuros

Nos sistemas de gestão de energia, a plataforma “*Energytracker*”, é uma ferramenta muito útil, no apoio à gestão de energia das instituições, uma vez que permite gerir dados, *online* ou *offline*, recorrendo à base dados. Esses dados podem ser provenientes de diversos sistemas (marcas diferentes) com protocolos de comunicação diferentes, e nesse sentido é necessário demonstrar a capacidade desta plataforma ao nível das poupanças inerentes à eficiência energética.

A presente plataforma encerra algumas lacunas, em virtude da inexistência de plataformas de monitorização que sejam capazes de integrar diversos tipos de sistemas (marcas/protocolos diferentes).

Desta forma sugere-se como proposta para trabalhos futuros, a integração na plataforma um módulo de monitorização da taxa de ocupação dos utilizadores nos edifícios monitorizados e a um módulo de monitorização das instalações solares térmico na plataforma “*Energytracker*”, sem descorar a implementação da tecnologia medição e verificação (M&V), muito útil para a elaboração de plano de eficiência energética.



## Referências

- [1] AMBIENTE, Comissão Mundial para o meio (1987) Report of the World Commission on Environment and Development: Our Common Future. [Em linha]. [Consult. 20 abr. 2015]. Disponível em <http://www.un-documents.net/wced-ocf.htm>.
- [2] EUROPEIA, União - Protocolo de Quioto relativo às Alterações Climáticas [Em linha]. [Consult. 21 abr. 2015]. Disponível em <http://europa.eu/scadplus/leg/pt/lvb/l28060.htm>.
- [3] Diretiva 2012/27/EU do Parlamento Europeu e do Conselho, vol. 2012, nº.2. Jornal Oficial da União Europeia, L315/1 de 25 de Outubro 2012, pp 01-52
- [4] Diretiva 2002/91/CE do Parlamento Europeu e do Conselho, vol.2002, nº.2 Jornal Oficial das Comunidades Europeias, L1/65 de 16 de Dezembro de 2002, pp. 65-71
- [5] Diretiva 2006/32/CE do Parlamento Europeu e do Conselho, vol.2006, nº.3 Jornal Oficial da União Europeia, L 114/64 de 5 de Abril, 2006, pp. 64-85
- [6] Diretiva 2010/31/UE do Parlamento Europeu e do Conselho, vol.2010, nº.2 Jornal Oficial da União Europeia, L 153/13 de 19 de Maio, 2010, pp. 13-35
- [7] ADENE (Agência da Energia) - Planear Políticas Energéticas. [Em linha]. [Consult. 23 abr. 2015]. Disponível em <http://www.adene.pt/politica-energetica>.
- [8] Ministério da Economia, Programa E4: Eficiência Energética e Energias Endógenas. 2001
- [9] Presidência do Conselho de Ministros - Resolução de Concelhos de Ministros n.º 80/2008, Diário da República, 1.ª série, n.º 97 de 20 de maio, 2008.
- [10] Presidência do Conselho de Ministros - Resolução de Concelhos de Ministros nº 29/2010, Diário da República, 1ª série, n.º 73 de 15 de abril, 2010.
- [11] ADENE (Agência da Energia) - ECO.AP. [Em linha]. [Consult. 26 abr. 2015]. Disponível em <http://www.adene.pt/ecoap-0>.
- [12] Presidência do Conselho de Ministros - Resolução de Concelhos de Ministros n.º 20/2013, Diário da República, 1.ª série, n.º 70 de 10 de abril, 2013.
- [13] ADENE (Agência da Energia) - Legislação. [Em linha]. [Consult. 27 abr. 2015]. Disponível em <http://www.adene.pt/legislacao>.
- [14] ADENE (Agência da Energia) - Fundo Eficiência Energética. [Em linha]. [Consult. 27 abr. 2015]. Disponível em <http://fee.adene.pt/Paginas/default.aspx>.
- [15] FAI (Fundo de Apoio à Inovação) - Fundo de Apoio à Inovação. [Em linha]. [Consult. 29 abr. 2015]. Disponível em <http://www.fai.pt>.



- [16] Energia Renováveis - Eficiência energética em equipamentos e sistemas elétricos no sector residencial. [Em linha]. [Consult. 29 abr. 2015]. Disponível em [http://www.energiasrenovaveis.com/images/upload/Brochura\\_Eficiencia.pdf](http://www.energiasrenovaveis.com/images/upload/Brochura_Eficiencia.pdf)
- [17] CÓIAS, Vítor; FERNANDES, Susana - Reabilitação Energética de Edifícios. Pedra & Cal, nº34, abr/mai/jun 2007. pp. 07-10.
- [18] PEIXOTO DE FREITAS, Vasco; GUIMARÃES, Ana; FERREIRA, Cláudia; ALVES, Sandro - Edifícios Existentes - Medidas de Melhoria de Desempenho Energético e da Qualidade do Ar Interior, ADENE, 2011. ISBN: 978-972-8646-16-5
- [19] Universidade do Porto - Breve história da UP. [Em linha]. [Consult. 5 mai. 2015]. Disponível em [https://sigarra.up.pt/up/pt/web\\_base.gera\\_pagina?p\\_pagina=breve%20hist%C3%B3ria%20da%20universidade%20do%20porto](https://sigarra.up.pt/up/pt/web_base.gera_pagina?p_pagina=breve%20hist%C3%B3ria%20da%20universidade%20do%20porto)
- [20] Universidade do Porto - Plano Estratégico 2011-2015. [Em linha]. [Consult. 5 mai. 2015]. Disponível em [http://sigarra.up.pt/up/pt/conteudos\\_service.conteudos\\_cont?pct\\_id=10269&pv\\_cod=03a7azzTinSh](http://sigarra.up.pt/up/pt/conteudos_service.conteudos_cont?pct_id=10269&pv_cod=03a7azzTinSh).
- [21] CARVALHO, Maria - Apontamentos da disciplina de Energia Solar, FEUP, Outubro 2005.
- [22] MOITA, Francisco - Energia Solar Passiva. Lisboa: Imprensa Nacional - Casa da Moeda, 1985.
- [23] FERREIRA, António - Especificação de um Provedor de Serviço Web para Dimensionamento de Pequenos sistemas de Energias Renováveis. Porto: FEUP 2005, Projeto fim de curso.
- [24] FALCÃO, António - Energia Solar, Movimento e Posicionamento relativos Terra-Sol. [Em linha]. [Consult. 15 Maio 2015]. Disponível em <https://fenix.tecnico.ulisboa.pt/downloadFile/3779572107293/Texto%20Apoio%20Mov.Sol-Terra.pdf>
- [25] COSTA, Jorge; LEBENA, Eduardo - Conversão Térmica da Energia solar, Sociedade Portuguesa Energia solar. [Em linha]. [Consult. 15 maio]. Disponível em [https://www.disterm.pt/files/\\_Manual\\_Instaladores\\_488dd9566d27f.pdf](https://www.disterm.pt/files/_Manual_Instaladores_488dd9566d27f.pdf)
- [26] CARVALHO, Luís; TEIXEIRA, Tiago; CALADO, Vítor; BARBOSA, Joaquim - Manual de Instalação de Sistemas Solares Térmicos, Porto: Publindústria, 2012. ISBN: 9789897230129
- [27] SILVA, Jorge - Dicas & Esquemas. [Em linha]. [Consult. 20 mai. 2015]. Disponível em <http://dicasesquemas.blogspot.pt/2011/04/sistemas-solares-termicos-existem-dois.html>
- [28] TÁVORA, Francisco - Apontamentos da disciplina de Redes de Distribuição de Energia Elétrica, Escola Superior de Tecnologia e Gestão de Leiria, novembro 1999.
- [29] ERSE - Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos - Despacho n.º 18413-A/2001, Diário da Republica, 2.ª série, n.º 203 de 1 de setembro, 2001.
- [30] ERSE - Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos - Despacho n.º 22393/2008, Diário da Republica, 2.ª série, n.º 203 de 29 de agosto, 2008.
- [31] ERSE - Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos - Despacho n.º 7253/2010, Diário da Republica, 2.ª série, n.º 80 de 26 de abril, 2010.
- [32] ERSE - Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos - Despacho n.º 12605/2010, Diário da Republica, 2.ª série, n.º 150 de 4 de agosto, 2010.
- [33] BLACELLS, Josep; AUTONELL Jordi; BARRA, Vicente; BROSSA, Joan; FORNIELES, Francesc; GRACIA, Bernat; ROS, Joan, SERRA, Jordi - Eficiencia en el uso de la energia eléctrica. Barcelona: Marcombo, 2011. ISBN: 978-84-267-1695-8.
- [34] SOARES, António - Sistema de Monitorização de uma Rede de Comunicação para Autómatos Programáveis. Porto: FEUP, 1991. Dissertação de mestrado.

- [35]NATIVIDADE, Pedro - Gestão de Consumos de Energia em Edifícios: Metodologia para a Definição de Indicadores de Eficiência. Porto: FEUP, 2013. Dissertação de mestrado integrado.
- [36]DAMAS, Luís - SQL - Structured Query Language, Lisboa: FAC - Editora de Informação, 2005.

# Anexo 1

Complexo da UP / Edifícios - Auditorias Energéticas -	
<b>A</b>	<b>Reitoria e Faculdades</b>
A.1	Reitoria UP
A.2	Faculdade de Arquitetura
A.3	Faculdade de <b>Belas Artes</b>
A.4	Faculdade de Ciências
A.5	Faculdade de Desporto
A.6	Faculdade de Direito
A.7	Faculdade de Economia
A.8	Faculdade de Engenharia
A.9	Faculdade de Letras
A.10	Faculdade de Medicina Dentária
A.11	Faculdade de Psicologia e Ciências da Educação
<b>B</b>	<b>Serviços de Ação Social da UP: SASUP</b>
<b>B.1</b>	<b>Residências de Estudantes Universitárias</b>
B.1.1	Alberto Amaral
B.1.2	Aníbal Cunha
B.1.3	Bandeirinha
B.1.4	Campo Alegre I
B.1.5	Jayme Rios de Sousa
B.1.6	Paranhos
B.1.7	São João de Brito
<b>B.2</b>	<b>Residências/Cantinas Universitárias</b>
B.2.1	Ciências

<b>Campus da UP /Edifícios</b>	
B.2.2	Novais Barbosa
<b>B.3</b>	<b>Unidades Alimentares</b>
B.3.1	Engenharia
B.3.2	São João
<b>B.4</b>	<b>Cantinas e bares</b>
B4.1	Belas Artes
B4.2	Desporto
B4.3	Economia
B4.4	Farmácia
B4.5	Biomédicas
B4.6	Medicina
<b>B.5</b>	<b>Armazém/Lavandaria da Carvalhosa</b>
<b>C</b>	<b>Outros edifícios de ensino, de investigação e transferência de tecnologia da UP</b>
C.1	Complexo da rua dos Bragas - Edifício Parcauto (CIIMAR)
C.2	Complexo da rua dos Bragas - Edifício Parcauto (Jornalismo e Comunicação)
C.3	Complexo da rua dos Bragas - Edifício Rosa
C.4	Complexo da rua dos Bragas - Edifício ex-Minas
C.5	Complexo da rua dos Bragas - Edifício ex-Química
C.6	Edifício da rua de Ceuta
C.7	Edifício CEMUP
C.8	Edifício do Jardim Botânico
C.9	Edifício rua das Taipas
C.10	Edifício do IPATIMUP
<b>D</b>	<b>Outros edifícios de atividades culturais e desportivas da UP</b>
D.1	Complexo da rua dos Bragas - Edifício ex-Mecânica
D.2	Edifício do Circulo Universitário
D.3	Instalações Desportivas da rua da Boa Hora
D.4	Casa Museu Abel Salazar
<b>E</b>	<b>Fundação Instituto Marques da Silva</b>
E.1	Fundação Instituto Marques da Silva - Praça do Marquês de Pombal, nº 30
E.2	Fundação Instituto Marques da Silva - Praça do Marquês de Pombal, nº 44

## Anexo 2

Complexo da UP / Edifícios - Películas Solares -	
<b>A</b>	<b>Reitoria e Faculdades</b>
A.1	Faculdade de <b>Belas Artes</b>
A.2	Faculdade de Direito
<b>B</b>	<b>Serviços de Ação Social da UP: SASUP</b>
B.1.1	Alberto Amaral
B.1.2	Bandeirinha
<b>B.2</b>	<b>Residências/Cantinas Universitárias</b>
B.2.1	Novais Barbosa
<b>C</b>	<b>Outros edifícios de ensino, de investigação e transferência de tecnologia da UP</b>
C.1	Edifício da rua de Ceuta

## Anexo 3

Complexo da UP / Edifícios - Instalações Solares Térmico -	
<b>A</b>	<b>Reitoria e Faculdades</b>
A.1	Faculdade de Desporto
<b>B</b>	<b>Serviços de Ação Social da UP: SASUP</b>
<b>B.1</b>	<b>Residências de Estudantes Universitárias</b>
B.1.1	Alberto Amaral
B.1.2	Campo Alegre I
B.1.3	Jayme Rios de Sousa
B.1.4	Novais Barbosa
B.1.5	Paranhos
<b>B.3</b>	<b>Unidades Alimentares</b>
B.3.1	Engenharia

## Anexo 4

Complexo da UP / Edifícios - Correção do Fator de Potência -	
<b>A</b>	<b>Reitoria e Faculdades</b>
A.1	Faculdade de <b>Belas Artes</b>
A.2	Faculdade de Economia
A.3	Faculdade de Medicina Dentária
<b>B</b>	<b>Serviços de Ação Social da UP: SASUP</b>
<b>B.1</b>	<b>Residências de Estudantes Universitárias</b>
B1.1	Alberto Amaral
B1.2	Campo Alegre I
B1.3	Jayme Rios de Sousa
B1.4	Novais Barbosa
B1.5	Paranhos
<b>B.2</b>	<b>Unidades Alimentares</b>
B.2.1	Engenharia

## Anexo 5

Complexo da UP / Edifícios - Sistema de Monitorização de Energia -	
<b>A</b>	<b>Reitoria e Faculdades</b>
A.1	Reitoria UP
A.1	Faculdade de Belas Artes
A.3	Faculdade de Desporto
A.4	Faculdade de Direito
A.5	Faculdade de Economia
A.6	Faculdade de Letras
A.7	Faculdade de Medicina Dentária
A.8	Faculdade de Psicologia e Ciências da Educação
<b>B</b>	<b>Serviços de Ação Social da UP: SASUP</b>
<b>B.1</b>	<b>Residências de Estudantes Universitárias</b>
B1.1	Alberto Amaral
B1.2	Aníbal Cunha
B1.3	Bandeirinha
B1.4	Campo Alegre I
B1.5	Jayme Rios de Sousa
B1.6	Paranhos
B1.7	São João de Brito
<b>B.2</b>	<b>Residências/Cantinas Universitárias</b>
B.2.1	Novais Barbosa
B.2.2	Ciências
<b>B.3</b>	<b>Unidades Alimentares</b>
B.3.1	Engenharia
B.3.2	São João
<b>B.4</b>	<b>Cantinas e bares</b>



B.4.1	Economia
<b>C</b>	<b>Outros edifícios de ensino, de investigação e transferência de tecnologia da UP</b>
C.1	Complexo da rua dos Bragas - Edifício Rosa
C.2	Complexo da rua dos Bragas - Edifício ex-Mina
C.3	Complexo da rua dos Bragas - Edifício ex-Química
C.4	Edifício do Jardim Botânico
C.5	Edifício CEMUP
C.6	Edifício rua das Taipas
C.7	Edifício do IPATIMUP
<b>D</b>	<b>Outros edifícios de atividades culturais e desportivas da UP</b>
D.1	Casa Museu Abel Salazar
D.2	Complexo da rua dos Bragas - Edifício ex-Mecânica
D.3	Edifício do Circulo Universitário

